

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريريج

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département Électromécanique

## MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : (Automatique)

Spécialité : (Automatique et Informatique Industriel)

Par : Benneni Nassim

### Sujet

## Etude de communication par fibre optique

Soutenu publiquement, le 01 / 07/2023, devant le jury composé de :

M.Hmimid Mourad	Pr	<b>Univ-BBA</b>	Président
M.Diaf Abdelaziz	MA	<b>Univ-BBA</b>	Examineur
M.Bencheikh Abedlhalim	Pr	<b>Univ-BBA</b>	Encadrant

Année Universitaire 2022/2023

# Dédicaces

“

*Je dédie ce mémoire*

*À ma très chère maman pour son soutien durant toute ma vie d'étudiant et sans lui je ne serai jamais devenu ainsi. À ma très chère père.*

*À ma frère et mes soeurs .et à toute ma famille. À une personne précieuse pour moi*

*À mes amis d'étude pour leurs soutiens et leurs encouragements .*

*À tous les professeurs et enseignants qui m'ont suivi durant tout mon cursus scolaire et qui m'ont permis de réussir dans mes études .*

*À toute personne ayant contribué à ce travail de près ou de loin. Merci.*

”

***Benneni Nassim***

# Remerciements

Le grand remerciement revient à dieu qui m'a donné la force et le courage à réaliser et terminer ce modeste travail.

Je tiens à remercier très vivement mon encadreur Monsieur **Bencheikh Abdelhalim**, enseignant à l'université Mohamed El Bachir El Ibrahimi Bordj Bou Arreridj, je le remercie de nous avoir toujours poussé vers l'avant, pour toute la confiance qu'il nous porte, pour sa grande disponibilité inconditionnelle, ses conseils avisés, et ses encouragements. Ses nombreuses idées furent un soutien très précieux.

Je remercie mes amis et collègues de l'université, pour l'ambiance conviviale qu'ils ont contribué à entretenir, les bons moments passés en leur compagnie et leur sympathie.

Je remercie également messieurs les membres de jury, d'avoir accepté de jurer ce modeste travail.

À tous ceux avec qui j'ai eu l'occasion de travailler ou que j'ai eu l'honneur de rencontrer avant et pendant ma thèse, et à tous mes **professeurs à l'Université Mohamed El Bachir Brahimy Bordj Bou Arreridj**.

Enfin, je remercie chaleureusement tous les membres de ma famille et tous mes amis pour leur soutien et leurs encouragements.

# Résumé

Le présent travail est consacré à l'étude, puis la conception et la simulation, d'une liaison de communication par fibre optique sous l'environnement d'un logiciel commercial OPTISYSTÈME. Ce travail a fait l'objet aussi d'une étude réelle concrète de la liaison Bordj Bou Arréridj-Sétif.

---

**Mots clés :** communication par fibre optique, communication à haut débit.

---

# Abstract

This work is devoted to the study, then the design and simulation, of a fiber optic communication link under the environment of commercial software OPTISYSTEM. This work was also the subject of a real concrete study of the link Bordj Bou Arreridj-Setif.

---

**Keywords :** fiber optic communication, high speed communication.

## ملخص

العمل الحالي مخصص للدراسة ، ثم التصميم والمحاكاة لوصلة اتصال بواسطة الألياف البصرية تحت بيئة البرنامج التجاري OPTISYSTÈME. وكان هذا العمل أيضا موضوع دراسة ملموسة حقيقية لوصلة برج بوعريريج - سطيف.

---

كلمات مفتاحية :

اتصالات الألياف البصرية، اتصال عالي السرعة.

---

# Table des matières

Dédicaces . . . . .	I
Remerciements . . . . .	II
Résumé . . . . .	III
Abstract . . . . .	IV
V . . . . .	ملخص
Introduction générale . . . . .	1
<b>1 Théorie de la télécommunication par fibre optique . . . . .</b>	<b>3</b>
1.1 Introduction . . . . .	3
1.2 Structure générale d'une liaison par fibre optique . . . . .	3
1.2.1 Emetteur optique . . . . .	4
1.2.1.1 Sources optiques . . . . .	4
1.2.1.1.1 Les diodes laser (DL) : . . . . .	5
1.2.1.1.2 Les diodes électroluminescentes (LED) : . . . . .	5
1.2.1.1.3 La comparaison entre les LED et LD : . . . . .	5
1.2.1.2 Modulateurs . . . . .	6
1.2.1.2.1 Modulation directe : . . . . .	6
1.2.1.2.2 Modulation externe : . . . . .	6
1.2.1.2.3 Le modulateur d'intensité de Mach-Zehnder : . . . . .	7
1.2.2 Fibre optique . . . . .	7
1.2.2.1 Introduction . . . . .	7
1.2.2.2 Structure de la fibre optique . . . . .	7
1.2.2.3 La Propagation dans la fibre optique . . . . .	8
1.2.2.4 Caractéristique de la fibre optique . . . . .	8
1.2.2.4.1 L'angle Ouverture Numérique (ON) : . . . . .	8
1.2.2.4.2 Bande passante : . . . . .	9
1.2.2.4.3 La dispersion : . . . . .	9
1.2.2.4.4 Atténuation du signal optique dans les fibres optiques : . . . . .	10
1.2.2.5 caractéristique de l'optique . . . . .	11
1.2.2.5.1 Longueur d'onde de coupure : . . . . .	11
1.2.2.5.2 La fréquence normalisée : . . . . .	11
1.2.2.5.3 Modes de propagation : . . . . .	12





<b>3</b>	<b>Simulation d'une liaison de télécommunication par fibre optique sous Optisystem</b>	<b>38</b>
3.1	Introduction	38
3.2	Présentation du logiciel de simulation OptiSystem	38
3.2.1	L'interface de travail sur OptiSystem	39
3.2.1.0.1	Lancement du logiciel OptiSystem :	39
3.2.1.1	Les éléments essentiels de l'interface graphique :	39
3.2.1.1.1	La barre de menu :	40
3.2.1.1.2	Lancer une simulation :	40
3.2.1.2	La bibliothèque	41
3.2.1.3	Conception d'une liaison optique	42
3.3	Les paramètres de test	43
3.4	Visualisation de la liaison sur OTDR	44
3.5	La simulation sous Optisystem	45
3.5.1	Les montages équivalents des liaisons testées	46
3.5.2	Les différentes analyses des deux liaisons	48
3.5.2.1	Paramètres des liaisons simulées	48
3.5.2.2	la visualisation dans le domaine temporelle :	49
3.5.2.3	la visualisation dans le domaine fréquentielle	50
3.5.2.4	Le diagramme de l'œil	51
3.5.2.5	La puissance optique	51
3.5.2.5.1	Facteur de qualité Q	52
3.5.2.5.2	Le taux d'erreur binaire (BER)	52
3.5.3	Résolution des problèmes	53
3.5.3.1	L'atténuation	53
3.5.3.2	La dispersion	55
3.5.3.2.1	Compensation de la dispersion	55
3.5.3.2.2	Exemple d'application numérique	55
3.6	Conclusion	59
	<b>Conclusion générale</b>	<b>60</b>
	<b>Annexes</b>	<b>61</b>

# Table des figures

1.1	Structure de la liaison par fibre optique.[5]	4
1.2	Structure d'un émetteur optique.[5]	4
1.3	Processus d'émission stimulée.[4]	5
1.4	Schéma de l'émetteur optique avec (a) une modulation directe et (b) une modulation externe.[3]	6
1.5	Structure de la fibre optique.[17]	7
1.6	Le principe de guidage de la lumière avec les lois de la réfraction et de la réflexion de Descartes.[15]	8
1.7	Le guidage des rayons dans une fibre optique.[15]	9
1.8	Effet de la dispersion modale.	10
1.9	Fibre multimode à saut d'indice.[12]	13
1.10	Fibre multimode à gradient d'indice.[12]	13
1.11	Fibre optique Monomode.[11]	14
1.12	Schéma d'un récepteur de données à détection directe.[1]	15
2.1	Impulsion rectangulaire de hauteur 1 (au) approximée par un nombre variable de termes dans le développement en série de Fourier.	19
2.2	(a) Transformée de Fourier d'impulsion rectangulaire de durée $\tau$ et d'aire A. Le point A correspond à la fréquence $V = \frac{2}{\tau}$ et le point B à la fréquence $V = \frac{3}{\tau}$ , (b) Impulsions super-gaussiennes pour plusieurs valeurs de $m = 1, 2, 3, 4$ .	20
2.3	(a) :Élargissement induit par la dispersion d'une impulsion gaussienne. $\beta_2 = 60ps^2/km$ et $\beta_3 = 0.01ps^3/km$ , (b) :Évolution d'une impulsion super-gaussienne avec $m=3\beta_2 = 0ps^2/kmet\beta_3 = 0.01ps^3/km$ .	21
2.4	(a) :Evolution de l'impulsion gaussienne par la méthode split-step de la transformée de Fourier, (b) :Vue tridimensionnelle de l'évolution de l'impulsion gaussienne illustrée à la figure (2.2).	22
2.5	Fonctions ordinaires de Bessel. (gauche) Fonctions $J_m$ , (droite) fonctions $Y_m$ .	24
2.6	Fonctions de Bessel modifiées. (gauche) Fonctions $K(m)$ , (droite) fonctions $I(m)$ .	25
2.7	Tracé du paramètre de guide d'onde $b$ et de ses dérivées $d(bV)/dV$ et $V d^2(bV)/dV^2$ en fonction du nombre de $V$ pour le mode HE11.	26
2.8	Tracé des fonctions de Bessel pour $m = 0$ et $m = 1$ utilisé pour illustrer les conditions de coupure.	27
2.9	Wavelength dependence of refractive index based on the Sellmeier equation for SiO2.	29

2.10	Tracé de $P_{min}$ en fonction de la bande passante pour le détecteur PIN pour trois valeurs de température (1500 K, 1000 K et 500 K). . . . .	33
2.11	Tracé du taux d'erreur binaire en fonction de Q. . . . .	35
3.1	L'interface de travail sur OptiSystem. . . . .	39
3.2	Bibliothèque des composants (1), Navigateur du Projet (2), Fenêtre de :présentation du projet en cours(3), description du projet en cours(4). . . . .	40
3.3	La fenêtre qui montre le lancement de la simulation. . . . .	41
3.4	Fenêtre montrant la bibliothèque du logiciel Optisystem. . . . .	41
3.5	Composants d'une liaison d'un système de communication par fibre optique. . . . .	42
3.6	La bibliothèque des :(a)émetteurs optiques, (b)fibres optique, (c)récepteurs optiques. . . . .	43
3.7	la trace d'OTDR de la liaison(BBA-Limite-Sétif). . . . .	44
3.8	Vérification de l'analyse de la trace d'OTDR de la liaison (BBA-Sétif). . . . .	45
3.9	Les paramètres des fibres et des connecteurs utilisés pour la liaison étudiée. On a une source de 1550 nm, une longueur de liaison de 50Km, et une atténuation de 0.2 dB/Km. . . . .	46
3.10	le montage équivalent de liaison(BBA-Sétif). . . . .	46
3.11	Les résultats obtenus par le montage équivalent de liaison (BBA-Sétif). . . . .	47
3.12	Les blocs visualisés dans la simulation de la liaison optique. . . . .	48
3.13	Les blocs visualisés dans la simulation. . . . .	49
3.14	la visualisation dans le domaine temporelle de différents signaux pour la liaison. . . . .	50
3.15	la spectre d'un signal avant et après la transmission . . . . .	50
3.16	diagramme de l'œil des liaisons. . . . .	51
3.17	Puissance optique à la sortie de la liaison BBA-Sétif. . . . .	52
3.18	la trace de facteur de qualité liaison (BBA-Sétif). . . . .	52
3.19	Le taux d'erreur binaire la liaison (BBA-Sétif). . . . .	52
3.20	Installation d'un amplificateur optique dans une liaison. . . . .	53
3.21	le signal à l'entrée et à la sortie de la liaison à 10 Gbits/s . . . . .	54
3.22	diagramme de l'œil de la liaison (BBA-Sétif) avec débit de10Gbit/s sans(a) et avec amplification(b). . . . .	54
3.23	La trace de facteur de qualité de la liaison (BBA-Sétif) sans et avec amplification. . . . .	55
3.24	la configuration d'une fibre de compensation dans la liaison. . . . .	56
3.25	compensation de la dispersion en utilisent la DCF . . . . .	56
3.26	diagramme de l'œil de la liaison à fibre de compensation . . . . .	57
3.27	la configuration d'une liaison avec fibre de compensation et un amplificateur EDFA. . . . .	57
3.28	le signale à l'entrée et à la sortie de la liaison . . . . .	58
3.29	diagramme de l'œil, de laliation après la configuration d'amélioration. . . . .	58
3.30	diagramme de taux d'erreur binaire de la liaison après la configuration d'amélioration. . . . .	58

# Liste des tableaux

- 1.2 comparaison entre les LED et LD.[18] . . . . . 5
- 1.4 Comparaison entre la fibre monomode et multimode.[10] . . . . . 14
- 1.6 Comparaison entre les deux types des photodiodes.[3] . . . . . 16
  
- 2.2 Méthode de fractionnement de la transformée de Fourier. . . . . 21
- 2.4 *Courants d'obscurité pour différents semi-conducteurs et leurs composés.* . 32
  
- 3.2 Configuration test de la liaison optique (BBA-Sétif) et un exemple supplémentaire de ( Bejaia- Elkseur). . . . . 44
- 3.4 tableau comparatif des résultats de simulation et de l'OTDR des pertestotales de puissances. . . . . 47
- 3.6 Paramètres de la liaison. . . . . 49
- 3.8 Tableau montrant les caractéristiques de l'amplificateur utilisé. . . . . 53
- 3.10 Paramètres de la fibre optique de compensation . . . . . 56

# Liste des sigles et acronymes

<b>DL</b>	<i>Diodes Laser</i>
<b>LED</b>	<i>Light Emitting Diode</i>
<b>DEL</b>	<i>Diodes Electroluminescente</i>
<b>ON</b>	<i>Ouverture Numérique</i>
<b>Dm</b>	<i>dispersion du matériau</i>
<b>Dg</b>	<i>dispersion du guide</i>
<b>PIN</b>	<i>Positive Intrinsic Negative Photodiodes</i>
<b>APD</b>	<i>Avalanche Photo Diode)</i>
<b>TIA</b>	<i>L'amplificateur transimpédance</i>
<b>MEA</b>	<i>Modulation d'amplitude</i>
<b>MZM)</b>	<i>mach-zehnder modulator</i>

# Introduction générale

La communication par fibre optique a révolutionné le monde des télécommunications. En offrant une méthode de transmission de données rapide, efficace et fiable. L'histoire de la communication par fibre optique remonte aux années 1880 : Alexander Graham Bell, inventeur du téléphone, explore le concept de transmission de la voix à travers la lumière en utilisant des faisceaux de lumière réfléchis [1].

Dans les années soixante, les premières fibres optiques étaient fabriquées en verre. Mais elles présentaient des limitations importantes, notamment en termes de perte de signal. Cependant, grâce aux avancées technologiques, les années 1970 ont vu l'émergence de premières fibres optiques à faible perte. Les chercheurs des laboratoires de recherche Corning Incorporated (États-Unis) développent des fibres optiques en silice de haute qualité. Ces fibres sont capables de transmettre la lumière sur de longues distances sans trop d'affaiblissement (1977 : Le premier système de communication à fibre optique est installé entre Long Beach et Artesia, en Californie, aux États-Unis).

Dans les années 1980, la communication par fibre optique a commencé à être largement utilisée dans les réseaux de télécommunications. Les câbles en fibre optique offraient une bande passante beaucoup plus élevée que les câbles en cuivre traditionnels, permettant ainsi des débits de transmission de données plus rapides. Au fur et à mesure que la demande de bande passante augmentait, les années 1990 ont vu l'introduction de fibres optiques à dispersion compensée, qui ont permis de réduire les effets de la dispersion chromatique, un problème majeur dans la transmission sur de longues distances. Depuis lors, la communication par fibre optique est devenue omniprésente dans les réseaux de télécommunications, les réseaux locaux d'entreprises, les centres de données et les connexions Internet à haut débit. Les avancées technologiques continuent de repousser les limites de la capacité de transmission et d'améliorer les performances globales des réseaux à fibre optique. [18]

La communication via la fibre optique est généralement considérée comme une méthode très fiable et efficace pour transmettre des informations à haute vitesse sur de longues distances. Cependant, il existe certains problèmes qui peuvent survenir lors de l'utilisation de ce type de communication. Les problèmes plus courants rencontrés lors de la communication via la fibre optique sont : atténuation du signal, Dispersion, perturbations externes, Connecteurs et jonctions défectueux, Éclairage laser défectueux.

Les objectifs d'étude de la communication par fibre optique sont de comprendre et d'améliorer les systèmes de transmission de données à travers des câbles de fibres optiques et améliorer la capacité de transmission, ainsi que la qualité du signal. En outre, développer de nouvelles technologies et applications pour répondre aux besoins croissants en matière

de communication à haut débit et fiable. Ces objectifs peuvent être divisés en plusieurs aspects clés : Caractérisation de la fibre optique, capacité de transmission, amplification optique, et réduction des perturbations.

Dans ce context, le présent mémoire va démontrer à travers une étude et simulation détaillées, comment assurer une communication par fibre optique entre de points quelconques (deux villes). On a considéré comme exemple concret, celui de la liaison entre Bordj bou Arréredj et Sétif. Alors, le manuscrit du mémoire sera partagé en trois chapitres séparés, tels que :

- **Le premier chapitre** est consacré aux notions de base et aux éléments essentiels. D'une communication par fibre optique. On verra les émetteurs, les fibres optiques et les récepteurs.
- **Le deuxième chapitre** est consacré à son tour à certaines simulations de base sur les caractéristiques des émetteurs, des fibres optiques et des récepteurs.
- **Le troisième chapitre** Ce sera consacré à la simulation concrète des liaisons par Fibres optiques sous le logiciel commercial OPTISYSTEM. On va prendre comme Application, la conception ainsi que la simulation de la liaison par fibre optique entre Bordj Bou Arréridj et Sétif.

À la fin, on terminera le manuscrit par une conclusion générale.

# Chapitre 1

## Théorie de la télécommunication par fibre optique

### 1.1 Introduction

La théorie essentielle des liaisons de télécommunication par fibre optique repose sur l'utilisation de fibres optiques pour transmettre la lumière et les signaux optiques sur de longues distances avec une perte de signal minimale. Cette technologie offre une bande passante élevée, une transmission rapide et une meilleure immunité aux interférences électromagnétiques, en faisant une option privilégiée pour les réseaux de télécommunications modernes.

Dans ce premier chapitre on va étudier une chaîne de transmission en essayant de définir de manière synthétique ses différents éléments tout en décrivant leurs fonctionnements, leurs caractéristiques.

### 1.2 Structure générale d'une liaison par fibre optique

Le principe dans les communications optiques consiste à transporter de l'information sous forme lumineuse d'un point à un autre à travers un guide diélectrique. L'information à transmettre est convertie d'un signal électrique en signal optique grâce à un émetteur, elle est ensuite injectée dans une fibre optique. A la réception, le signal subira le traitement inverse à savoir la conversion optique-électrique grâce à un récepteur .[5]

Globalement, Une liaison à fibre optique se décompose en trois parties :

1. Une source optique (laser) pour générer le signal optique qui va être utiliser comme porteuse de signaux numériques à transmettre.
2. Une fibre optique qui sert comme moyen de transmission équipée des amplificateurs optiques situés sur la ligne de transmission pour régénérer le signal.
3. Un récepteur optique pour récupérer les données optiques et les convertis en signaux électriques.[1]



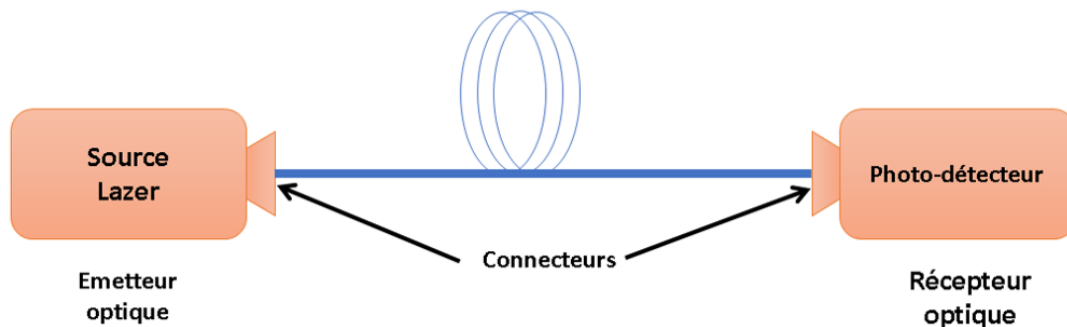


FIG. 1.1 : Structure de la liaison par fibre optique.[5]

### 1.2.1 Emetteur optique

Le rôle de la parité d'émission est de délivrer à la fibre optique un signal sur lequel, les Ces données sont inscrites. Les donnes à transmettre sont converties d'un signal électrique en. Signal optique grâce à un émetteur.[1][5]

Elle comprend de divers éléments : laser (source lumineuse) et un système de modulation.[1]

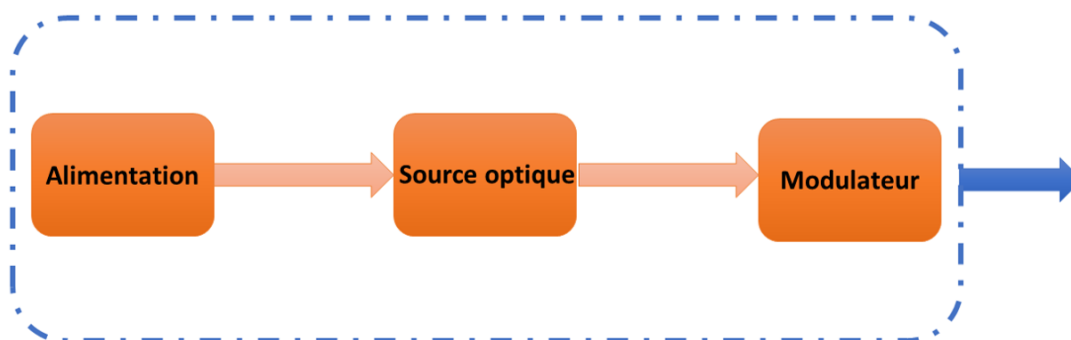


FIG. 1.2 : Structure d'un émetteur optique.[5]

#### 1.2.1.1 Sources optiques

Le laser à semi-conducteur est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques vue leur faible dimension et leur grande fiabilité de transmission, et la réalisation d'un couplage efficace « émetteur-fibre »

Il existe deux types d'émetteurs utilisables pour la génération de signaux lumineux :les diodes **LASER (DL)** et les diodes **électroluminescentes (LED)**.Elles sont réalisées à partir de jonctions PN polarisées en direct et fondées sur la recombinaison des paires électron-trou.

la fonction fondamentale de source optique est de convertir une énergie électrique en une énergie optique (conversion électro-optique).[8]

**1.2.1.1.1 Les diodes laser (DL) :** la diode laser est une source cohérente et monochromatique, elle est utilisée dans les systèmes de transmission à très grande distance, elle est caractérisé par : une faible largeur spectrale et une bande passante importante. Le spectre est monomode longitudinal

Pour obtenir l'effet LASER, il est nécessaire de favoriser l'émission stimulée comme l'indique l'acronyme dont le mot issu « Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation ». Cela se fait en remplissant deux conditions :

- Il faut avoir suffisamment d'électrons dans l'état d'énergie supérieure. Dans un semi-conducteur, ceci est réalisé par une opération dite de pompage électrique.
- Il faut avoir suffisamment de photons incidents

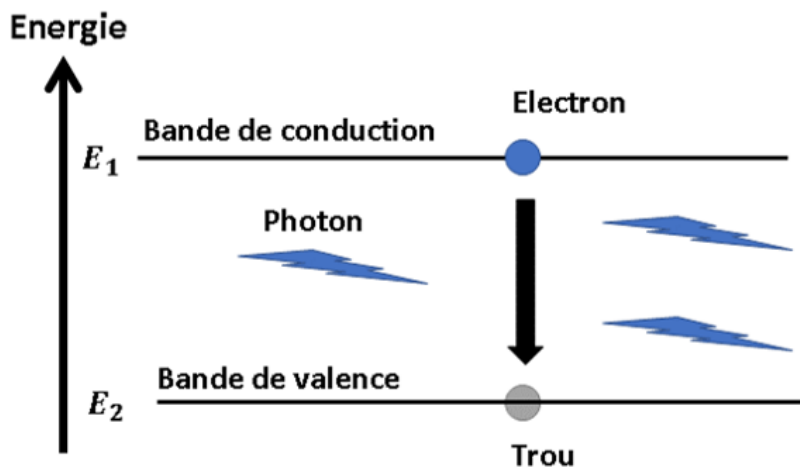


FIG. 1.3 : Processus d'émission stimulée.[4]

**1.2.1.1.2 Les diodes électroluminescentes (LED) :** La LED est le composant émetteur le plus simple. C'est une source incohérente et poly-chromatique, elle présente un spectre d'émission assez large et un diagramme de rayonnement moins directif, elle est utilisée dans les systèmes de transmission qui n'exigent pas de très grandes bandes passantes. Elle a un spectre typique d'émission spontanée, continu et assez large d'où une forte sensibilité à la dispersion chromatique.[5]

**1.2.1.1.3 La comparaison entre les LED et LD :** Les deux diodes sont utilisées comme un émetteur optique, mais les différences se présentent dans le tableau ci-dessous :

Emetteur	DEL	Laser
Fenêtre (nm)	800 à 900, 1250 à 1350	1300 et 1550
Bande passante	< 200 MHz	> 1 GHz
Distance	Courte	Longue
Sensibilité à la température	Moyenne	Très forte
Durée de vie	Longue	Courte
Coût	Faible	Elevé

TAB. 1.2 : comparaison entre les LED et LD.[18]

### 1.2.1.2 Modulateurs

Les informations transmises dans les fibres optiques sur de longues distances (quelques kilomètres) sont exposées à une combinaison d'effets linéaires et non linéaires, en plus des pertes qui se produisent lors de la transmission des informations (signal modulant). Pour protéger le signal transmis, il est nécessaire d'utiliser des ondes porteuses pour transmettre le signal de départ. deux ondes utilisées : les ondes électromagnétiques, les ondes radio.

La modulation est un moyen de transporter un signal en utilisant des ondes porteuses.

**1.2.1.2.1 Modulation directe :** La modulation du courant qui traverse un laser à semi-conducteur entraîne directement la modulation en intensité de la lumière émise ou de puissance optique, mais ce n'est pas la modulation de l'intensité du courant, c'est ce qu'on appelle la modulation directe. Il suffit d'inscrire les données sur l'alimentation du laser. Un inconvénient de cette méthode est que lorsque l'on module en amplitude le courant d'injection d'un laser est accompagné d'une modulation de fréquence parasite ou chirp. Ces effets, conjugués à la dispersion chromatique de la fibre, provoquent un élargissement de l'impulsion d'autant plus importante que la longueur de la fibre est grande.

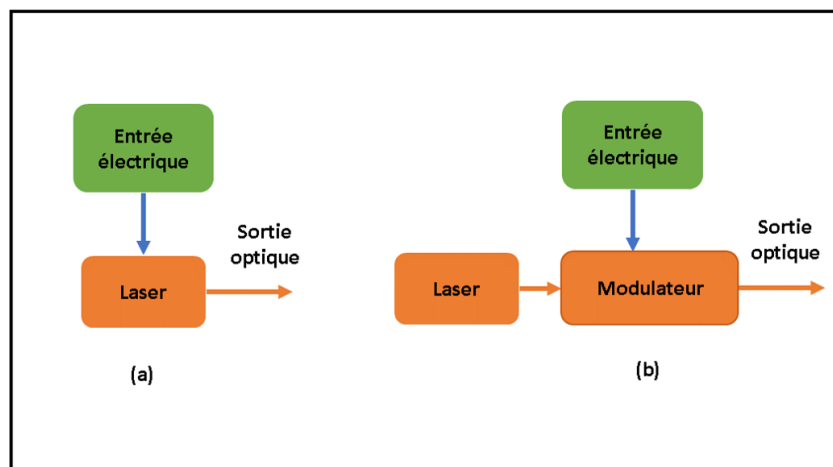


FIG. 1.4 : Schéma de l'émetteur optique avec (a) une modulation directe et (b) une modulation externe.[3]

**1.2.1.2.2 Modulation externe :** Pour la modulation externe les données sont imprimées sur le signal optique continu issu du laser.

Cette modulation est obtenue en modulant directement le faisceau lumineux à la sortie du laser à l'aide d'un dispositif externe (modulateur MEA ou MZM). Le courant d'injection du laser n'est plus modulé.

L'avantage d'utiliser un modulateur externe est d'augmenter la distance de liaison maximale, car l'effet de chirp du laser est éliminé.

La modulation externe peut être réalisée par deux types de modulateurs : les modulateurs à électro-absorption ou les modulateurs électro-optiques (Mach-Zehnder).[18]

**1.2.1.2.3 Le modulateur d'intensité de Mach-Zehnder :** Les modulateurs de Mach-Zehnder sont des modulateurs électrooptiques que l'on place directement en sortie. Du laser. Ils sont fréquemment utilisés pour les applications de télécommunication large. Bande. Le principe de fonctionnement consiste à effectuer une modulation de l'intensité. lumineuse en faisant varier la phase dans un interféromètre. Ce modulateur a deux en. Trées, une entrée électrique et une autre optique. Ce dispositif produit des changements. temporels dans l'amplitude et la phase du signal optique.[18]

## 1.2.2 Fibre optique

### 1.2.2.1 Introduction

La fibre optique, mince cheveu de verre très transparent, a révolutionné les télécommunications depuis sa première application fructueuse au début des années 1950.

Les fibres optiques sont un composant majeur des systèmes de communication optique. offre un énorme avantage par rapport à la transmission analogique. Les données sont transmises sous forme de particules lumineuses, ou photons, sur un câble à fibre optique. en raison de sa faible atténuation, de sa légèreté, de sa petite taille et de sa résistance. Mécanique.

Depuis 25 ans, la fibre optique a supplanté le câble coaxial dans la plupart des réseaux. de télécommunications sur support, tout du moins pour les hauts débits, elle s'est imposée. au fil des années comme le média par excellence pour la transmission des données sur des Longues distances.[1][12]

### 1.2.2.2 Structure de la fibre optique

La fibre optique est un guide d'onde cylindrique de verre (en Silice ( $SiO_2$ )) à base de diélectrique, insensible aux fluctuations atmosphériques et à la topologie. Elle est essentiellement constituée d'une partie centrale appelée cœur qui permet propagation des ondes lumineuses, d'indice de réfraction  $n_1$ , entourée d'une autre partie appelée gaine qui permet, la réflexion total de cette ondes, l'indice de la gaine est inférieur à celui du cœur ( $n_1 > n_2$ ). Une couche de protection mécanique en matière plastique appelée Revêtement. [17]

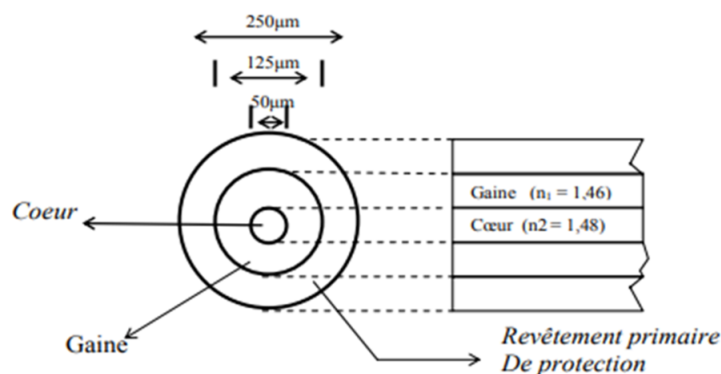


FIG. 1.5 : Structure de la fibre optique.[17]

### 1.2.2.3 La Propagation dans la fibre optique

Le principe de fonctionnement d'une fibre optique est basé sur la Loi de Descartes. La lumière se propage le long de la fibre par réflexions totales successives à la surface de séparation des deux milieux, le cœur et la gaine.

Si  $n_2 > n_1$  le rayon s'écarte de la normale et si  $\theta_1 > \arcsin(\frac{n_1}{n_2})$ , il y a réflexion totale. Ce principe a été démontré par Snell-Descartes qui a établi la relation suivante : [15]

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (1.1)$$

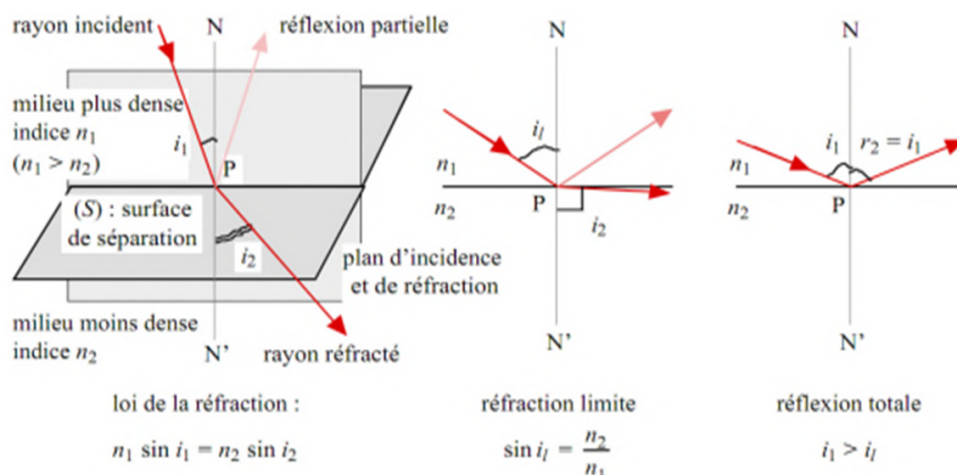


FIG. 1.6 : Le principe de guidage de la lumière avec les lois de la réfraction et de la réflexion de Descartes.[15]

### 1.2.2.4 Caractéristique de la fibre optique

**1.2.2.4.1 L'angle Ouverture Numérique (ON) :** L'angle qui assure la propagation de la lumière dans une fibre optique. L'ouverture numérique (ON) est un paramètre de la fibre optique lié à l'angle d'acceptation; elle est calculée à partir des indices de réfraction du cœur et de la gaine.

L'ouverture numérique (ON) est définie comme :

$$ON = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.2)$$

C'est une quantité sans dimension. Les valeurs typiques de ON sont comprises entre 0,14 et 0,50. L'expression finale est :

$$ON = n_1(2\Delta)^{1/2} \quad (1.3)$$

En pratique  $n_1 \approx n_2$  et la différence d'indice de réfraction relative  $\Delta$  est : [15]

$$\Delta = \frac{(n_1 + n_2)(n_1 - n_2)}{2n_1^2} \simeq \frac{2n_1(n_1 - n_2)}{2n_1^2} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (1.4)$$

Une valeur typique de paramètre  $\Delta$  pour une fibre monomode est d'environ 0,01.

Le cône d'acceptation est déterminé en utilisant l'ouverture numérique :[2]

$$ON = \sin \theta_{i,max} \quad \theta_{i,max} = \text{angle critique} \quad (1.5)$$

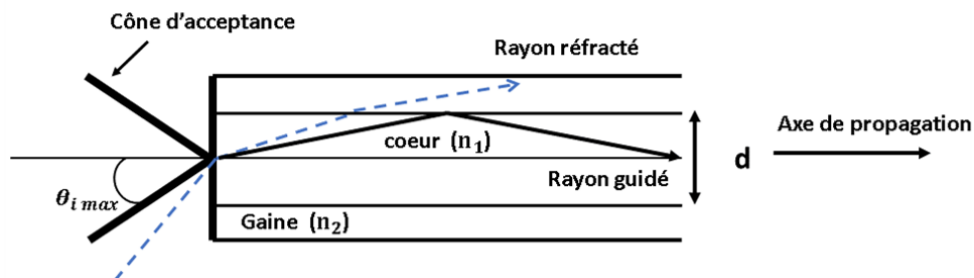


FIG. 1.7 : Le guidage des rayons dans une fibre optique.[15]

**1.2.2.4.2 Bande passante :** est un des paramètres les plus importants pour définir les propriétés de transmission d'une fibre optique, peut être définie comme la largeur de l'intervalle de fréquences utilisables sur un support. Elle définit la capacité de d'informations que l'on peut transmettre sur une fibre optique. La bande passante varie avec la longueur de la fibre car dépende de l'effet conjonctif des deux phénomènes de dispersion modale et chromatique

La bande passante est définie par l'expression :

$$BP = \frac{1}{2} \Omega_{tot} \quad (1.6)$$

$$\Omega_{tot}^2 = \Omega_C^2 + \Omega_m^2 \quad (1.7)$$

Avec :

$\Omega_C, \Omega_m$  :dispersion chromatique, et modale,  $\Omega_{tot}$  :Dispersion total.[1][14]

**1.2.2.4.3 La dispersion :** La dispersion d'un signal optique se manifeste par une distorsion du signal et cause un élargissement des impulsions au cours de leur propagation dans la fibre optique. Il existe deux types de dispersion :[14][16]

**Les types de la dispersion :**

**Dispersion chromatique (intra modale) :** La dispersion chromatique provient d'une variation de l'indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde l'onde se propageant dans la fibre optique , La dispersion chromatique D, exprimée usuellement en ps/nm/km, avec :

$$D_{CGM} = \frac{\tau_t}{L} d\lambda \quad (1.8)$$

La dispersion chromatique  $D$  est la combinaison de deux types de dispersion : la dispersion du matériau  $D_m$  et la dispersion du guide d'onde  $D_g$ . [13]

$$D_g : D = D_m + D_g \quad (1.9)$$

- **La dispersion du matériau ( $D_m$ ) :** L'élargissement est causé par ce que l'indice de réfraction du verre n'est pas le même pour toutes les longueurs d'onde. Cette dispersion existe dans toutes les fibres optiques, qu'elle soit monomode ou multimode, et elle est très petite à la longueur d'onde d'environ 1300 nm. [16]
- **La dispersion du guide ( $D_g$ ) :** La distribution transversale de la lumière dans le cœur de la fibre n'est pas uniforme, il y a en particulier une onde évanescente qui s'étale un peu dans la gaine de la fibre. Ceci explique que la dispersion que subit la lumière lorsqu'elle se propage dans une fibre optique n'est pas seulement due à la dispersion du matériau qui constitue le cœur de la fibre, mais aussi de la contribution de la géométrie du guidage de la fibre. Cette contribution est appelée dispersion du guide d'onde. Dans la plupart des fibres optiques, la dispersion du guide d'onde est beaucoup plus faible que la dispersion matérielle. [16]

### Dispersion modale (ou intermodale) :

Dans une fibre optique multimode se propagent plusieurs modes, chacun suivant une trajectoire différente avec sa propre vitesse, celle-ci dépend de l'angle d'incidence à l'interface air-verre.

L'énergie lumineuse transmise dans la fibre se répartit entre les différents modes qui se propagent dans le cœur.

La dispersion modale : qui résulte de la différence de temps de propagation des différents modes qui se propagent dans la fibre multimode. [5][14]

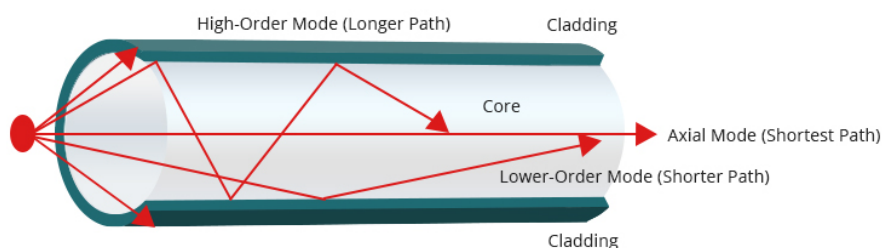


FIG. 1.8 : Effet de la dispersion modale.

**1.2.2.4.4 Atténuation du signal optique dans les fibres optiques :** Un signal optique perd sa puissance lorsqu'il se propage dans une fibre optique à grande distance, c'est le phénomène d'affaiblissement ou l'atténuation. Pour réduire ce phénomène, il faut que l'intensité dépasse un certain seuil.

L'atténuation est donnée en (dB). Dans une fibre optique l'affaiblissement dépend de la longueur d'onde utilisée et la distance parcourue.

A cours de propagation de la lumière le long de la fibre optique la puissance décroît selon la loi :

$$P_s = P_e \exp(-\alpha L) \quad (1.10)$$

On définit un coefficient d'atténuation  $\alpha$  pour une ligne de transmission de longueur  $L$  qui s'exprime en  $dB/Km$  .

$$\alpha(\lambda)_{\left(\frac{dB}{KM}\right)} = -\frac{10}{L} \log_{10} \left[ \frac{p_s}{p_e} \right] \quad (1.11)$$

$P_e$  : puissance d'entrée.

$P_s$  : puissance de sortie.

$$\text{avec : } 10 \log_{10}(e) = 4.343$$

L'atténuation dans la fibre a plusieurs origines :

- **Pertes par absorption moléculaire** : elles sont causées par l'absorption des rayons optiques par la silice et les impuretés contenus dans celle-ci.
- **Pertes par micro courbures** : elles sont dues principalement aux techniques de fabrication, elles se traduisent par l'irrégularité de l'interface cœur gaine.
- **Pertes par courbures** : lorsqu'on courbe une fibre, l'angle d'incidence diminue, ce qui a pour conséquence soit une conversion de mode, soit un rayonnement dans la gaine.
- **Pertes par épissurage** : elles sont dues au couplage .[1][5]

### 1.2.2.5 caractéristique de l'optique

**1.2.2.5.1 Longueur d'onde de coupure** : La longueur d'onde de coupure  $\lambda_C$  est celle au-dessus de laquelle la fibre devient monomode. Si la longueur d'onde de propagation est inférieure à  $\lambda_C$  la fibre devient multi-modes.

Elle est définie comme suit dont  $a$  est le rayon du cœur :

$$\lambda_C = \frac{2\pi a}{2.405} \text{Ouverture Numérique} \quad (1.12)$$

En dessous de  $\lambda_C$  le mode fondamental perd de l'énergie au profit de modes d'ordre supérieur.[13][14]

**1.2.2.5.2 La fréquence normalisée** : La fréquence spatiale normalisée est une quantité sans unité, noté  $V$  qui détermine le régime d'opération et, en particulier, la transition entre un fonctionnement monomodale et Multimodale.[1]



La fréquence normalisée est donnée par :

$$V = \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right)[n_1^2 - n_2^2] \quad (1.13)$$

**1.2.2.5.3 Modes de propagation :** Le nombre de modes dans une fibre optique dépend des dimensions de la fibre et des indices de réfraction du coeur et de la gaine.

- Si  $V < 2.405$  un seul mode peut de propager, la fibre est monomodale.
- Si  $V > 2.405$  plusieurs modes peuvent de propager, La fibre est multimodale.

Pour une fibre à gradient d'indice et profil parabolique, le nombre de mode M est :

$$M = \left(\frac{1}{4}\right)V^2 \quad (1.14)$$

Pour une fibre à gradient d'indice et profil de paramètres quelconque, M est donné par :[1]

$$M = \left(\frac{\alpha}{\alpha + 2}\right)\left(\frac{1}{2}\right)V^2 \quad (1.15)$$

### 1.2.2.6 Les différents types de fibre optique :

Les fibres sont classées suivant leurs dimensions du coeur et des valeurs des indices de réfractions  $n_1$  et  $n_2$ , comme suit :

- La fibre ne comporte qu'un mode de propagation, elle est appelée fibre monomode.
- La fibre qui comporte plus qu'une mode propagation, elle est appelée fibre Multi-mode.

#### 1.2.2.6.1 Fibre optique Multi Mode : Fibre optique À saut d'indice :

Le coeur est homogène et diamètre varie entre 100  $\mu\text{m}$  et 200  $\mu\text{m}$ , et la gaine varie entre 150  $\mu\text{m}$  à 225  $\mu\text{m}$ .

Pour ce type de fibre l'indice de réfraction  $n_1$  reste constant dans tout le coeur, puis il décroît dans la gaine effectuant un saut d'indice.

La gaine joue un rôle nécessaire dans la propagation et ne doit pas être confondue avec la protection qui est sur la fibre, ainsi que le rayon est guidé par la réflexion totale au niveau de l'interface coeur- gaine.[1]

Avec :

$$\bar{n} = \left\{ \begin{array}{l} n_1, r < a(\text{coeur}) \\ n_2, r > a(\text{gaine}) \end{array} \right\} \quad (1.16)$$

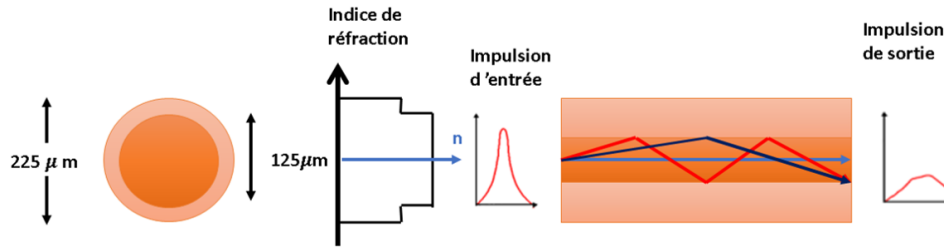


FIG. 1.9 : Fibre multimode à saut d'indice.[12]

**Fibre optique À gradient d'indice :**

Pour ce type de fibre, l'indice de réfraction  $n_1$  du cœur décroît graduellement du centre de la section du cœur jusqu'à la limite de la surface de séparation entre le cœur et la gaine. Le diamètre du cœur est de  $50\mu m$  et de la gaine est  $150\mu m$ . [1]

avec :

$$n(r) = n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^2} \quad \text{Si } r < a(\text{cœur}) \tag{1.17}$$

$$n(r) = n_1 \sqrt{1 - 2\Delta} \quad \text{Si } r > a(\text{gaine}) \tag{1.18}$$

Les rayons suivent une trajectoire d'allure sinusoïdale et la gaine n'intervient pas directement, mais élimine les rayons trop inclinés.

C'est la fibre la plus courante, utilisée en télécommunications car il offre un avenage de minimiser la dispersion du temps de propagation entre les rayons. [1]

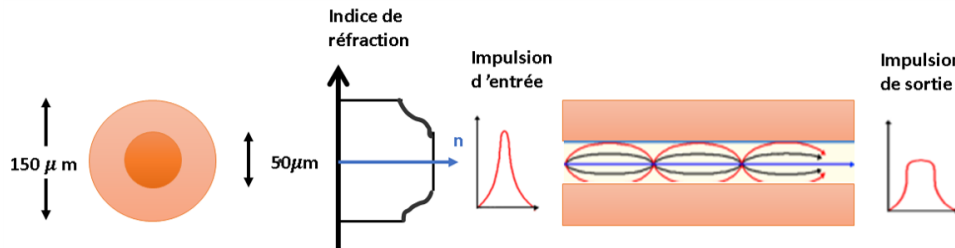


FIG. 1.10 : Fibre multimode à gradient d'indice.[12]

**1.2.2.6.2 Fibre optique Monomode :** Dans ce type de fibre, Le diamètre du cœur est inférieur à  $10 \mu m$  (varie entre  $6\mu m$  et  $8 \mu m$ ), le diamètre de leurs gaines est  $125\mu m$ .

Un seul mode se propage dans cette fibre (mode fondamental), elles sont largement utilisées pour la transmission de signaux à débit élevée et sur de longues distances grâce à la bande passante la plus large et le niveau de pertes le plus bas et l'absence de dispersion modale.

Avec :

$$n(r) = n_1 \sqrt{1 - 2\lambda \left(\frac{a}{2}\right)^\alpha} \tag{1.19}$$

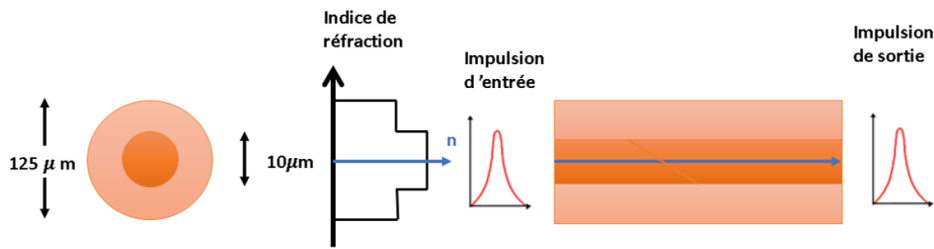


FIG. 1.11 : Fibre optique Monomode.[11]

C'est la fibre la plus courante, utilisée en télécommunications car il offre un avantage de minimiser la dispersion du temps de propagation entre les rayons .[1]

**Comparaison entre la fibre monomode et multimode :**

Fibre monomode	Fibre multimodes
Ouverture numérique faible (connexion difficile)	Ouverture numérique forte (connexion facile)
Très faible atténuation (quelques dixièmes de db/km)	Faible atténuation
Faible dispersion	Forte dispersion
La bande passante supérieure à 10 GHz/km	Bande passante comprise entre 200 et 4700 MHz.km
Utilisation pour longues distances	Utilisation pour réseaux privés
injection de type LASER (VCSEL)	Généralement injection de type LED

TAB. 1.4 : Comparaison entre la fibre monomode et multimode.[10]

**1.2.3 Récepteur optique**

Le photodétecteur reste le composant essentiel de toute réception optique (optique-électroconversion), qui convertit le signal optique reçu en signal électrique suivie d'un amplificateur, dont la réalisation doit être soignée car c'est en général le bruit de celui-ci qui limite la puissance optique minimale détectable, et donc la portée du système. Suivant les applications, on trouve ensuite des circuits de filtrage ou de remise à niveau logique (convertisseur).

Si l'écriture d'une donnée sur un signal lumineux se fait de plusieurs manières, alors sa réception et sa conversion en signal électrique se fait de plusieurs manières, où l'on distingue deux méthodes :

- La détection cohérente (détection hétérodyne et homodyne).
- La détection directe.

Le bloc de réception est le dernier étage de la chaîne de transmission il a pour rôle de capter et convertir au mieux le signal optique en signal électrique c.à.d. de récupérer la séquence binaire sous forme électrique (la réception basée sur la technique de détection directe). Ce bloc se compose généralement de trois parties :

1. Le bloc de 'premier étage' : composé du photodétecteur accompagné dans certains

cas d'un préamplificateur, qui a pour but de rendre le photocourant généré suffisamment fort malgré le faible signal optique reçu ou la faible sensibilité du photodétecteur.

2. Le bloc 'linéaire' : composé d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre, réducteur de bruit.
3. Le bloc 'récupération des données' : correspondant au dernier étage du récepteur. On y trouve un circuit de décision et un circuit de récupération de rythme, encore appelé circuit de synchronisation.[8][1][9]

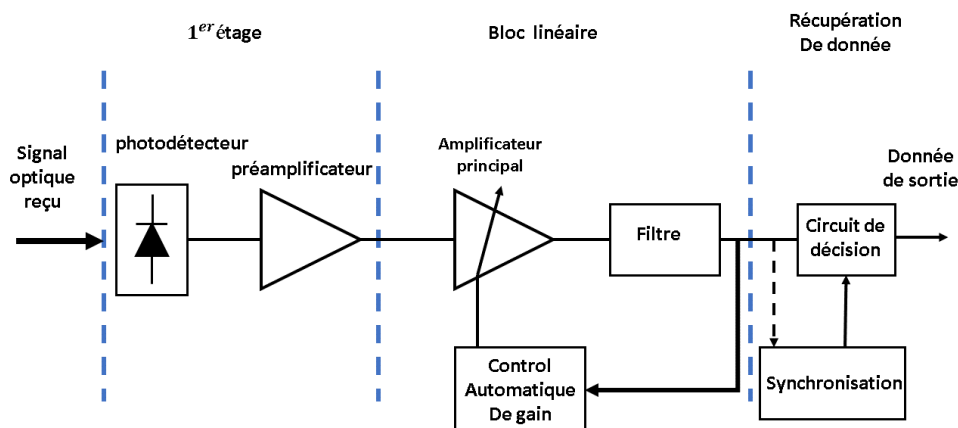


FIG. 1.12 : Schéma d'un récepteur de données à détection directe.[1]

### 1.2.3.1 Le photodétecteur

La photodiode est un dispositif qui assure la conversion du signal optique en un signal électrique (composé à semi-conducteur) tout en minimisant les déformations et la dégradation engendrée par le bruit. Il se comporte comme un compteur de photons et un générateur de courant est caractérisé par une sensibilité importante pour la longueur d'onde utilisée.[1][4]

Deux types de photodiodes les plus utilisées dans la chaîne de détection sont les photodiodes à semi-conducteurs PIN et APD car ils présentent les avantages d'être très rapides et faciles à utiliser, et ils ont une bande passante électrique allant supérieure à 60 GHz et couvrent toutes les fenêtres de longueurs d'onde. Bien que d'autres dispositifs soient plus sensibles. [1][4][5][6]

#### 1.2.3.1.1 Comparaison entre deux types de photodiodes les plus utilisées :

Une comparaison entre leurs performances est présentée dans le Tableau ci-dessous :

Types de photodiode	Photodiodes	
Caractéristiques	PIN	A avalanche

Tension de commande (V)	Faible	Elevé
Fréquence de coupure (GHz)	> 60	Quelque
Rendement quantique (%)	Faible	Elevé
Bande passante (GHz)	Large	Faible
Longueur d'onde (nm)	1300 et 155	1300 et 155

TAB. 1.6 : Comparaison entre les deux types des photodiodes.[3]

### 1.2.3.2 Le préamplificateur

Le préamplificateur est situé souvent après le photo-détecteur pour minimiser le bruit et les distorsions sur les signaux. Ces deux blocs sont souvent réunis dans un même boîtier.

L'association d'une photodiode et d'un TIA permet d'obtenir simultanément une grande bande passante et un bruit faible.

Deux types de préamplificateurs :

1- L'amplificateur à haute impédance d'entrée. 2- L'amplificateur transimpédance (TIA).[1]

### 1.2.3.3 Amplificateur

Un amplificateur optique est un dispositif optique permettant d'amplifier des signaux se propageant sur plusieurs canaux dans la fibre optique pour compenser leur perte lors de la propagation. Les signaux sont également déformés.[2]

Les amplificateurs sont utilisés dans une ligne de transmission optique sous trois manières différentes :

1. Booster : amplificateur de puissance à l'émission.
2. Amplificateur en ligne.
3. Preamplificateur de réception

Pour le cas de récepteur, malgré la présence d'un préamplificateur à la sortie de photodiode de réception : le courant émis par la photodiode, reste souvent assez faible. Il est donc, il est nécessaire d'utiliser un amplificateur à la sortie du photorécepteur. Le gain adéquat peut être assez élevé. En effet, du fait de la détection quadratique, il faut 2 dB électrique pour compenser 1 dB optique.[1]

### 1.2.3.4 Circuit de filtrage

À la sortie du récepteur optique (photodiode et amplificateur électrique), le courant comprend non seulement le signal reçu, mais aussi le bruit généré par la photodiode (bruit de grenaille et bruit thermique), d'où vient la nécessité de filtrage électrique pour éliminer ce bruit.

Il faut filtrer le signal numérique dans une bande  $0 - \Delta F$  qui soit le plus petit possible, tout en ne créant pas d'interférences inter symboles (IES), c-à-d la réponse du filtre à un symbole s'annule à tous les instants de décision sur les symboles voisins.[1]

### 1.2.3.5 Le Circuit de décision

Le bloc de décision a pour but d'assurer la mise en forme du signal détecté, ce bloc est constitué d'un détecteur à seuil et d'un circuit de récupération de rythme (circuit de synchronisation).

Le signal reçu est comparé au seuil de décision S'il est supérieur, alors un niveau haut sera détecté et établi, sinon, ce sera un niveau bas.

L'horloge doit être synchronisée sur le signal incident. Cette récupération de rythme est effectuée grâce à une boucle à verrouillage de phase classique.[1]

## 1.3 Conclusion :

Dans ce chapitre on a vu une description d'une liaison par fibre optique, les composants d'un émetteur, d'un récepteur et ses caractéristiques, avantages et inconvénients de la fibre optique.

Pour conclure, on peut dire que la fibre optique représente assurément le meilleur.Moyen actuel pour transporter de très hauts débits d'informations numériques, et lesLes besoins dans ce domaine vont probablement augmenter très fortement dans un avenir.Proche.

Dans le chapitre qui suit, nous allons présenter quelques simulations sur Matlab de différents composants de la liaison par fibre optique .

# Chapitre 2

## Simulation des différentes parties de la télécommunication par fibre optique

### 2.1 Introduction

Lorsqu'il s'agit de systèmes de communication par fibre optique, il existe plusieurs paramètres importants à prendre en compte pour assurer des performances optimales. Voici une certains de ces paramètres :Atténuation ,Dispersion,Capacité de transmission,Rapport signal/bruit ,Distance maximale de transmission,Connecteurs et pertes d'insertion ,Stabilité et fiabilité.

Il convient de noter que les systèmes de communication par fibre optique peuvent avoir d'autres paramètres spécifiques en fonction de leurs applications et de leurs exigences.

Dans ce deuxième chapitre nous allons simuler des différentes paramètres des parties de la structure générale de télécommunication par fibre optique :Simulation des paramètres de la fibre optique,emmetteur optique et du Récepteurs optiques.

### 2.2 Simulation des paramètres de l'émetteur

Les paramètres d'un émetteur optique peuvent varier en fonction de la technologie utilisée et du type d'émetteur optique en question. Cependant, voici quelques paramètres couramment associés aux émetteurs optiques :Longueur d'onde,Puissance de sortie,Modulation,Bande passante,Taux de transmission et Sensibilité .

Dans cette partie, nous passerons en revue les propriétés de base des impulsions, et leurs approximations et propriétés de base seront décrites. En plus de décrire les problèmes de base associés à la description des impulsions linéaires,et Mentionnez les paramètres les plus importants dans le principe de fonctionnement d'un laser à semi-conducteur. qui est basé sur des équations de taux.Nous commençons par un résumé des impulsions de base.

## 2.2.1 Impulsions de base

Chaque forme d'onde correspond à l'un des formats de modulation de base et à un fichier de différents profils de bits individuels. Les formats de transmission de données sont l'un des facteurs critiques dans les systèmes de communication optique. Plus tard, certaines de ces informations seront utilisées pour analyser les performances des systèmes de communication.

Dans cette section, nous allons simuler tous les types d'impulsions à l'aide du logiciel **Matlab** Nous commençons avec des impulsions rectangulaires.

### 2.2.1.1 Impulsions rectangulaires

Une impulsion rectangulaire peut être représentée par une série de Fourier où  $T$  est la durée de l'impulsion et  $s_n$  est son amplitude.

$$s_{rect}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} s_n \sin\left(\frac{n\pi}{T}t\right) \quad (2.1)$$

où

$$s_n = \begin{cases} 0, & n \text{ pair} \\ \frac{4s_0}{\pi n}, & n \text{ impair} \end{cases} \quad (2.2)$$

Sur la figure (2.1), nous avons tracé trois approximations possibles d'une impulsion rectangulaire pour  $n=1$ ,  $n=3$ ,  $n=5$  correspondant à un nombre différent de termes dans l'équation. (2.1). On peut observer qu'avec l'augmentation du nombre de termes dans le développement de Fourier, une approximation plus précise d'une impulsion rectangulaire est possible.

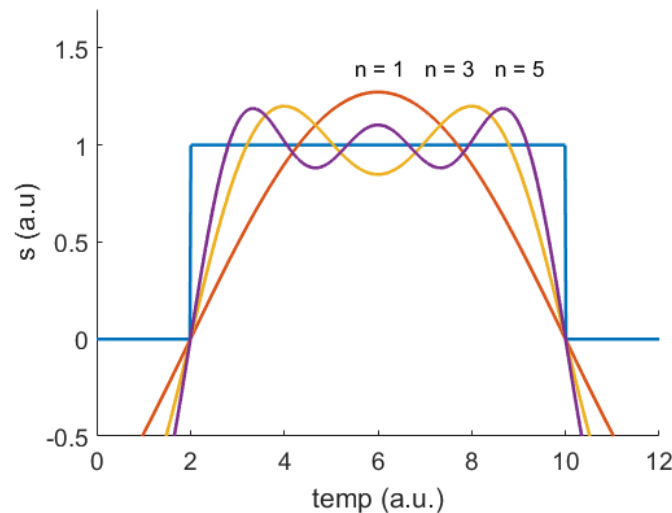


FIG. 2.1 : Impulsion rectangulaire de hauteur 1 (au) approximée par un nombre variable de termes dans le développement en série de Fourier.



En pratique, on pense souvent à une impulsion rectangulaire symétrique, où nous avons utilisé l'identité d'Euler.

### 2.2.1.2 Impulsions gaussiennes et Pouls super-gaussien

Une impulsion gaussienne est considérée comme un modèle précis des formes d'onde de données générées dans les systèmes de communication optique pratiques. Le profil gaussien est décrit comme :

$$S_G(t) = \frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t}{\sigma}\right)^2} \quad (2.3)$$

L'impulsion a une aire  $A = P_0\tau_0$ , où  $\tau = \sigma\sqrt{2\pi}$  et  $P - 0$  est sa valeur maximale (à  $t=0$ ).

Une impulsion super-gaussienne est une généralisation de la gaussienne habituelle et est :

$$S_{SG}(t) = \frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t}{\sigma}\right)^{2m}} \quad (2.4)$$

Le paramètre  $m$  contrôle le degré de netteté des contours. Pour  $m = 1$  on retrouve l'impulsion gaussienne ordinaire. Pour de plus grandes valeurs de  $m$ , l'impulsion se rapproche d'une impulsion rectangulaire, voir Fig. (2.2).

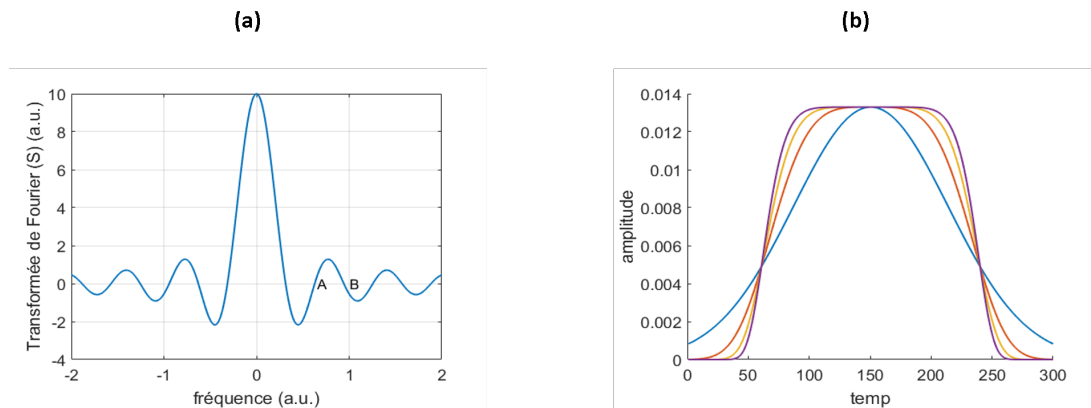


FIG. 2.2 : (a) Transformée de Fourier d'impulsion rectangulaire de durée  $\tau$  et d'aire  $A$ . Le point A correspond à la fréquence  $V = \frac{2}{\tau}$  et le point B à la fréquence  $V = \frac{3}{\tau}$ , (b) Impulsions super-gaussiennes pour plusieurs valeurs de  $m = 1, 2, 3, 4$ .

## 2.2.2 Propagation des impulsions linéaires

### 2.2.2.1 Méthode numérique utilisant la transformée de Fourier

Nous terminons cette partie en décrivant la solution numérique pour décrire la propagation d'une impulsion gaussienne (et aussi d'une impulsion super gaussienne) en présence

de dispersion. La solution dans le domaine fréquentiel est trouvée en multipliant la transformée de Fourier d'une impulsion unique  $p = \exp(-t^2/T_0)$  et la fonction de transfert  $H(\Omega)$  où la fonction spectrale est :

$$H(\Omega) = \exp \left[ \left( -\frac{\alpha}{2} - \frac{i}{2} \cdot \beta_2 \cdot \Omega^2 - \frac{i}{6} \cdot \Omega^3 \right) \cdot L \right] \quad (2.5)$$

où  $\alpha$  sont les pertes,  $L$  est la longueur de propagation et  $\beta_2$  et  $\beta_3$  sont des paramètres de dispersion définis précédemment.

La propagation de l'impulsion gaussienne sur une distance de 4000 km est représentée sur la Fig. (2.3 (a)) pour les paramètres suivants :  $\alpha = 0$ ,  $\beta_2 = 60 \text{ps}^2/\text{km}$  et  $\beta_3 = 0.01 \text{ps}^3/\text{km}$

Sur la Fig.(2.3(b)), nous montrons la propagation d'une impulsion super-gaussienne avec  $m=3$  sur la même distance avec  $\beta_3 = 0$ . Les paramètres restants restent inchangés.

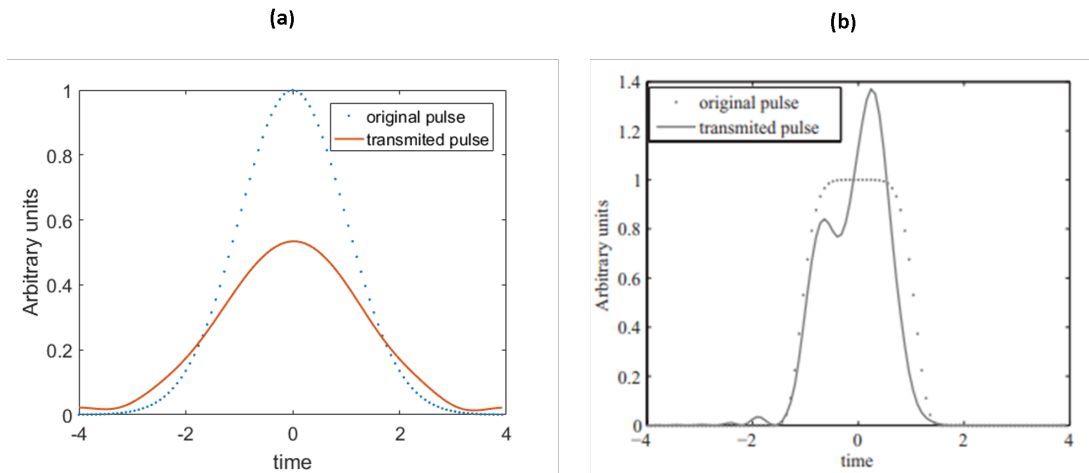


FIG. 2.3 : (a) :Élargissement induit par la dispersion d'une impulsion gaussienne.  $\beta_2 = 60 \text{ps}^2/\text{km}$  et  $\beta_3 = 0.01 \text{ps}^3/\text{km}$ , (b) :Évolution d'une impulsion super-gaussienne avec  $m=3$   $\beta_2 = 60 \text{ps}^2/\text{km}$  et  $\beta_3 = 0.01 \text{ps}^3/\text{km}$ .

Sur la Fig.(2.4), nous montrons la propagation d'une impulsion super-gaussienne avec  $m=3$  sur la même distance avec  $\beta_3 = 0$ . Les paramètres restants restent inchangés.

### 2.2.2.2 Méthode de fractionnement de la transformée de Fourier

Ici, nous l'utilisons pour illustrer la propagation de l'impulsion gaussienne. Dans un premier temps, nous décrivons brièvement la méthode.

Nom	Symbole	Valeur
Dispersion de second ordre	$\beta_2$	$60 \text{ps}^2/\text{km}$
Dispersion de troisième ordre	$\beta_3$	$0.01 \text{ps}^3/\text{km}$
Pertes	$\alpha$	0
Largeur d'impulsion gaussienne	$\Omega_0$	20 ps

TAB. 2.2 : Méthode de fractionnement de la transformée de Fourier.

Nous utilisons l'équation de Schroedinger linéaire. La transformation de Fourier donne :

$$\frac{\partial A(z, \Omega)}{\partial z} = -\frac{i\beta_2}{2}(-i\Omega)^2 A(z, \Omega) + \frac{i\beta_3}{6}(-i\Omega)^3 A(z, \Omega) - \frac{\alpha}{2}A(z, \Omega) \quad (2.6)$$

où  $\alpha$  décrit les pertes. La transformée de Fourier est définie de manière habituelle comme :

$$A(z, \Omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} A(z, t) e^{i\Omega t} dt$$

Éq. (2.6) peut être exprimé comme :

$$\frac{\partial A(z, \Omega)}{\partial z} = P \cdot A(z, \Omega) \quad (2.7)$$

où l'opérateur propagateur  $P$  est défini comme :

$$P = -\frac{i\beta_2}{2}\Omega^2 + \frac{i\beta_3}{6}\Omega^3 - \frac{\alpha}{2} \quad (2.8)$$

Éq. (2.7) peut être intégré sur une petite distance  $h$  le long de l'axe  $z$  avec le résultat :

$$A(z + h, \Omega) = e^P A(z, \Omega) \quad (2.9)$$

Les résultats sont présentés dans le Fig. (2.4) . Nous montrons l'évolution de l'impulsion gaussienne ainsi qu'une vue tridimensionnelle de l'évolution de l'impulsion.

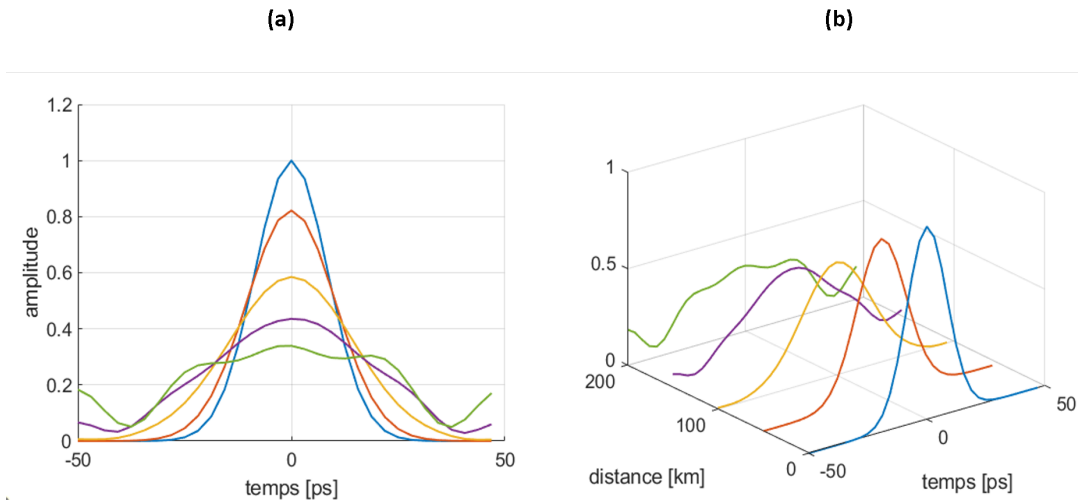


FIG. 2.4 : (a) :Evolution de l'impulsion gaussienne par la méthode split-step de la transformée de Fourier, (b) :Vue tridimensionnelle de l'évolution de l'impulsion gaussienne illustrée à la figure (2.2).

## 2.3 Simulation des paramètres de la fibre optique

La fibre optique est un support de transmission de données qui utilise la lumière pour transporter l'information sur de longues distances avec une vitesse et une capacité élevées. Lorsque l'on parle de paramètres de la fibre optique, on se réfère généralement à des caractéristiques physiques et optiques qui déterminent les performances et les limitations du système de transmission. Voici quelques-uns simulation des principaux paramètres de la fibre optique :Atténuation,Dispersion,Bande passante et Diamètre du cœur et de la gaine.

### 2.3.1 Équations d'onde en coordonnées cylindriques

La composante z du champ électrique  $E_z$  (il en va de même pour la composante magnétique z du champ  $H_z$ ) peut être considérée comme une variable indépendante, nous n'avons donc besoin de travailler qu'avec  $E_z$  (ou  $H_z$ ). À cette fin, nous allons dériver l'équation d'onde appropriée à partir de laquelle nous pouvons dériver une solution pour  $E_z$ .

Pour dériver l'équation pour  $E_z$ , nous utilisons les équations  $H_\phi$  et  $H_r$  on trouve

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \phi^2} + q^2 E_z = 0 \quad (2.10)$$

De même, nous pouvons dériver une équation pour  $H_z$ . Pour la dernière étape, nous utiliserons la première équation de Maxwell. Nous remplaçons  $E_\phi$  et  $E_r$  et obtenons une équation d'onde pour  $H_z$  en coordonnées cylindriques :

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 H_z}{\partial \phi^2} + n^2 k_0^2 H_z = 0 \quad (2.11)$$

### 2.3.2 Solution de l'équation d'onde en coordonnées cylindriques

Ici, nous allons analyser l'équation pour  $E_z$ . Une équation pour  $H_z$  peut être résolue de la même manière. Supposons que la séparation suivante des variables est possible :

$$E_z(r, \phi) = R(r)\Phi(\phi) \quad (2.12)$$

Après séparation, on obtient deux équations :

$$\frac{d^2 \Phi(\phi)}{d\phi^2} + m^2 \Phi(\phi) = 0 \quad (2.13)$$

et

$$r^2 \frac{d^2 R}{dr^2} + r \frac{dR}{dr} + (r^2 q^2 - m^2) R = 0 \quad (2.14)$$

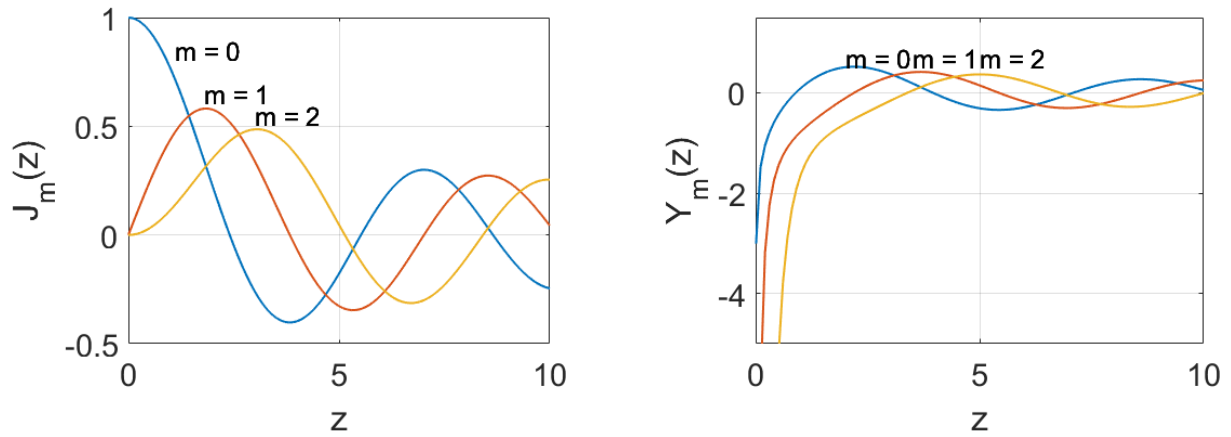


FIG. 2.5 : Fonctions ordinaires de Bessel. (gauche) Fonctions  $J_m$ , (droite) fonctions  $Y_m$ .

où  $m^2$  est une constante de séparation. Éq. (2.14) est connue sous le nom d'équation de Bessel et ses solutions sont appelées fonctions de Bessel. La solution de l'éq. (2.13) est :

$$\Phi(\phi) = e^{im\phi} \quad (2.15)$$

Ici,  $m$  prend des valeurs entières car  $\Phi(\phi + 2\pi) = \Phi(\phi)$ .

L'équation de Bessel sera écrite et résolue séparément pour les régions du cœur et de la gaine. Dans la région du cœur, elle se lit :

$$r^2 \frac{d^2 R}{dr^2} + r \frac{dR}{dr} + (r^2 k^2 - m^2) R = 0 \quad (2.16)$$

où

$$k^2 = \bar{n}_1^2 K_o^2 - \beta^2 > 0 \quad (2.17)$$

Les solutions de cette équation sont appelées fonctions de Bessel ordinaires  $J_m$  et  $Y_m$  du premier ordre et sont présentées à la Fig.(2.5).

L'équation de Bessel pour la région de gaine est :

$$r^2 \frac{d^2 R}{dr^2} + r \frac{dR}{dr} + (r^2 \gamma^2 - m^2) R = 0 \quad (2.18)$$

où

$$\gamma^2 = \beta^2 - \bar{n}_2^2 K_o^2 > 0 \quad (2.19)$$

Les solutions de cette équation sont appelées fonctions de Bessel modifiées,  $K_m, I_m$  de seconde espèce et d'ordre  $m$ . Ces fonctions sont représentées sur la Fig.(2.6).

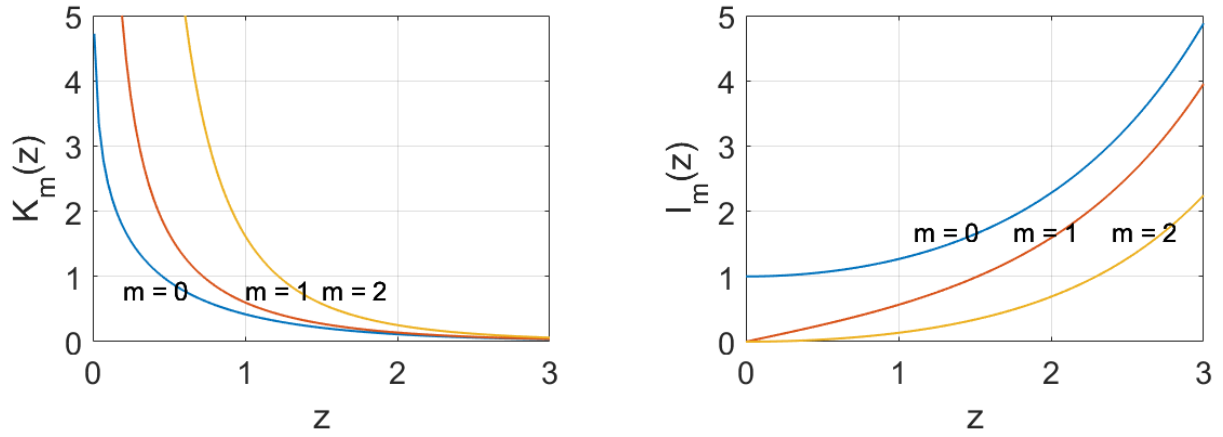


FIG. 2.6 : Fonctions de Bessel modifiées. (gauche) Fonctions  $K(m)$ , (droite) fonctions  $I(m)$ .

régions de coeur et de gaine comme :

$$R(r) = \begin{cases} AJ_m(kr) + A'Y_m(kr), & r \leq a \\ CK_m(\gamma r) + C'I_m(\gamma r), & r > a \end{cases} \quad (2.20)$$

où  $A, A', C, C'$  sont des constantes. Se référer aux propriétés du modes guidés.on trouve :

$$E_z = \begin{cases} AJ_m(kr)e^{im\phi}, & r \leq a \\ CK_m(\gamma r)e^{im\phi}, & r > a \end{cases} \quad (2.21)$$

Exactement de la même manière :

$$E_z = \begin{cases} BJ_m(kr)e^{im\phi}, & r \leq a \\ DK_m(\gamma r)e^{im\phi}, & r > a \end{cases} \quad (2.22)$$

On peut exprimer les autres composantes du champ en termes de  $E_z$  et  $H_z$ . Après un peu d'algèbre, la solution complète :

**Cas :**  $r < a$  (ceour)

$$E_\phi = -\frac{j}{k^2} \left( j\frac{\beta}{r} m A J_m(kr) - \Omega \mu k B J'_m(kr) \right) e^{jm\phi} \quad (2.23)$$

$$E_r = -\frac{j}{k^2} \left( \beta k A J_m(kr) + j\frac{\Omega \mu}{r} m B J_m(kr) \right) e^{jm\phi} \quad (2.24)$$

$$H_\phi = -\frac{j}{k^2} \left( \Omega \varepsilon_1 k m A J'_m(kr) + j\frac{\beta}{r} m B J_m(kr) \right) e^{jm\phi} \quad (2.25)$$

$$H_r = -\frac{j}{k^2} \left( \beta k B J_m(kr) - j\frac{\Omega \varepsilon_1}{r} m A J_m(kr) \right) e^{jm\phi} \quad (2.26)$$

Cas :  $r < a$  (revêtement)

$$E_\phi = \frac{j}{\gamma^2} \left( j \frac{\beta}{r} m C K_m(\gamma r) - \Omega \mu \gamma D K'_m(\gamma r) \right) e^{jm\phi} \quad (2.27)$$

$$E_r = \frac{j}{\gamma^2} \left( \beta \gamma C K'_m(\gamma r) + j \frac{\Omega \mu}{r} m D K_m(\gamma r) \right) e^{jm\phi} \quad (2.28)$$

$$H_\phi = \frac{j}{\gamma^2} \left( \Omega \varepsilon_2 \gamma C K'_m(kr) + j \beta / r m D K_m(kr) \right) e^{jm\phi} \quad (2.29)$$

$$H_r = \frac{j}{\gamma^2} \left( \beta \gamma D K'_m(\gamma r) + j \Omega \varepsilon_2 / r m C K_m(\gamma r) \right) e^{jm\phi} \quad (2.30)$$

### 2.3.2.1 Relation universelle

Le mode fondamental  $HE_{11}$  (ou  $LP_{01}$ ) a la relation de dispersion suivante (correspondant à  $m=1$ ) :

$$\frac{J_1(u)}{J_0(u)} + \frac{u k_1(\Omega)}{\Omega k_0(\Omega)} = 0 \quad (2.31)$$

ou  $u = a \sqrt{\bar{n}_1^2 k_0^2 - \beta^2}$  et  $\Omega = a \sqrt{\beta^2 - \bar{n}_2^2 k_0^2}$ .

Through past relationships one finds

$$b = \frac{\Omega^2}{V^2}$$

Après un peu d'algèbre

$$u^2 = a^2(\bar{n}_1^2 k_0^2 - \beta^2) = a^2 \bar{n}_1^2 k_0^2 - a^2 \bar{n}_2^2 k_0^2 + a^2 \bar{n}_2^2 k_0^2 - a^2 \beta^2 = V^2 + \Omega^2 = V^2 - V^2 b$$

Les arguments de l'éq. (2.31) peut donc être exprimé comme :

$$u = v \sqrt{1 - b} \quad \text{et} \quad \Omega = V \sqrt{b}$$

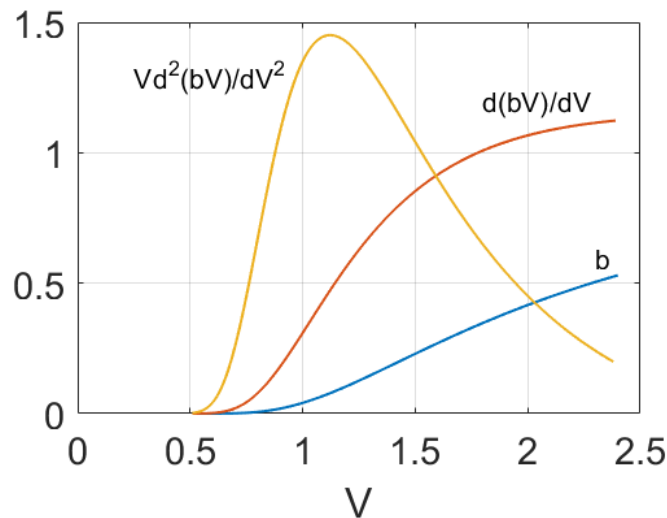


FIG. 2.7 : Tracé du paramètre de guide d'onde  $b$  et de ses dérivées  $d(bV)/dV$  et  $Vd^2(bV)/dV^2$  en fonction du nombre de  $V$  pour le mode  $HE_{11}$ .

Remplacement des arguments dans Eq. (2.31) avec les relations ci-dessus, on obtient finalement

$$\frac{J_1(V\sqrt{1-b})}{J_0(V\sqrt{1-b})} + \frac{\sqrt{1-b} K - 1(V\sqrt{b})}{\sqrt{b} K - 0(V\sqrt{b})} = 0 \quad (2.32)$$

La formule ci-dessus est valable pour le mode  $HE_{11}$ . Il ne contient que deux variables  $V$  et  $b$ . On l'appelle donc une relation universelle. La relation  $b = b(V)$  ainsi que deux autres  $\frac{d(bV)}{dV}$  et  $\frac{V d^2(bV)}{dV^2}$  qui sont importantes pour déterminer la relation de diffusion de la méthode de propagation.

### 2.3.2.2 Fibres monomodes

La fibre monomode ne supporte que le mode  $HE_{11}$  (mode fondamental qui correspond à  $m = 0$ ). nous avons :

$$kJ_0(ka)K_0'(\gamma a) + \gamma J_0'(\gamma a)K_0(\gamma a) = 0$$

$$k\bar{n}_2^2 J_0(ka)K_0'(\gamma a) + \gamma\bar{n}_2^2 J_0'(\gamma a)K_0(\gamma a) = 0$$

A la coupure,  $b=0$ , ce qui donne ça  $\beta/k_0 = N$  et cela  $\gamma = 0$ . Aussi,  $k^2 a^2 = a^2 k_0^2 (\bar{n}_1^2 - \bar{n}_2^2)$ . Ainsi  $V = ka$  lorsque  $\gamma = 0$ .

Ainsi la condition de coupure est :

$$J_0(V) = 0 \quad (2.33)$$

ce qui donne (pour le monomode) :

$$V = 2.405 \quad (2.34)$$

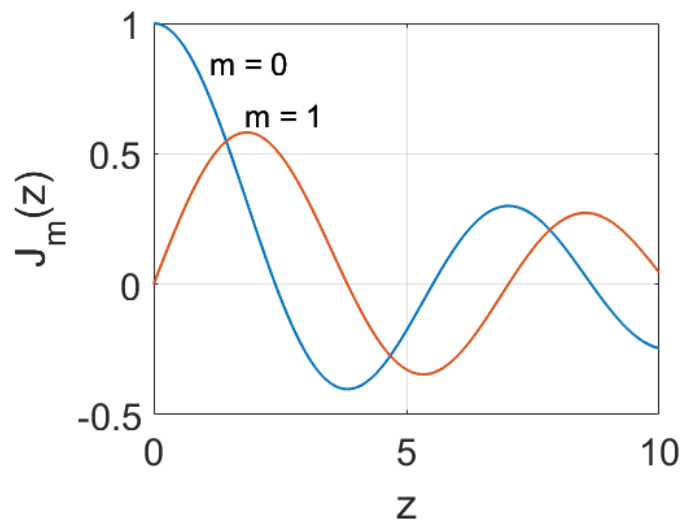


FIG. 2.8 : Tracé des fonctions de Bessel pour  $m = 0$  et  $m = 1$  utilisé pour illustrer les conditions de coupure.



### 2.3.2.3 Conditions de coupure

La condition  $b = 0$ , qui se traduit par  $\beta^2 = k_0^2 \bar{n}_2^2$ , définit la soi-disant coupure du mode . Un mode est coupé lorsque son champ dans la gaine devient évanescent et se détache du guide. Au seuil  $\beta = k_0 \bar{n}_2$  et aussi  $b = 0, V = V_c$ . La situation est illustrée sur la Fig. (2.8) pour  $m = 0$  et  $m = 1$ . Le cas  $m = 0$  correspond aux modes  $TE_{0n}$  et  $TM_{0n}$ . Les conditions de coupure pour ces modes sont obtenues à partir des racines de l'équation suivante :

$$J_0(k_c a) = 0 \quad (2.35)$$

Les conditions de coupure sont illustrées à la Fig. (2.8). Pour  $m = 0$ , les quelques racines les plus basses sont affichées. Ils correspondent à  $k_c a = 2,405$  et  $k_c a = 5,52$ . Pour  $m = 1$ , les seuils les plus bas sont :  $k_c a = 3,83$  et  $k_c a = 7,02$ .

### 2.3.3 Dispersion

Les principaux types de dispersion est :

#### 2.3.3.1 Retard de groupe-discussion générale

La dispersion intermodale  $D_i$  est définie par l'élargissement temporel maximum  $\tau$  d'une impulsion par unité de longueur de fibre :

$$\frac{\tau_g}{L} = \frac{1}{v_g} \quad (2.36)$$

où  $\tau_g$ —délai ou retard de groupe,  $L$ — distance,  $v_g$ —vitesse de groupe,  $\beta$ — constante de propagation.

Le retard de groupe détermine le temps de transit d'une impulsion traversant la fibre de longueur  $L$ . La vitesse de groupe est définie comme :

$$\frac{1}{v_g} \equiv \frac{d\beta}{d\omega} \quad (2.37)$$

Typiquement, on peut exprimer  $\tau_g$  en termes de dérivées par rapport à  $k$  ou  $\lambda$  ou  $V$

$$\tau_g = L \frac{d\beta}{d\omega} = \frac{L}{c} \frac{d\beta}{dk} = \frac{L}{c} \frac{V}{k} \frac{d\beta}{dV} = -\frac{L\lambda^2}{2\pi c} \frac{d\beta}{d\lambda} \quad (2.38)$$

Comme  $\tau_g$  dépend de  $\lambda$ , chaque composante spectrale d'un mode particulier parcourt la même distance en un temps différent.

A ce stage, une procédure typique consiste à considérer explicitement deux mécanismes physiques principaux qui contribuent au retard de groupe  $\tau_g$ . On peut donc écrire :

$$\tau_g = \left. \frac{L}{c} \frac{d\beta}{dk} \right|_{\bar{n} \neq \text{const}} + \left. \frac{L}{c} \frac{d\beta}{dk} \right|_{\bar{n} = \text{const}} \equiv \tau_{mat} + \tau_{\Omega g} \quad (2.39)$$

où  $\tau_{mat}$  est connu sous le nom de dispersion matérielle alors que  $\tau_{\Omega g}$  est une dispersion de guide d'ondes.

La dispersion des matériaux tient compte du fait que l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde ; c'est-à-dire  $\bar{n}=\bar{n}(\lambda)$  . Si nous négligeons la dépendance de l'indice de réfraction à la longueur d'onde, c'est-à-dire que nous fixons  $n = \text{const}$ , du fait que la vitesse de groupe dépend de  $\lambda$ , on obtient la contribution connue sous le nom de dispersion du guide d'ondes. Nous considérons maintenant les deux contributions séparément.

### 2.3.3.2 Dispersion des matériaux : équation de Sellmeier

La Constante de propagation  $\beta$  is La dispersion du matériau provient du fait que l'indice de réfraction  $\lambda$  dépend de la longueur d'onde. La constante de propagation  $\beta$  est

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \bar{n}$$

Utilisez ce qui précède et l'équation. (2.39) pour obtenir

$$\tau_{mat} = \frac{L}{c} \left( \bar{n} - \lambda \frac{d\bar{n}}{d\lambda} \right) \quad (2.40)$$

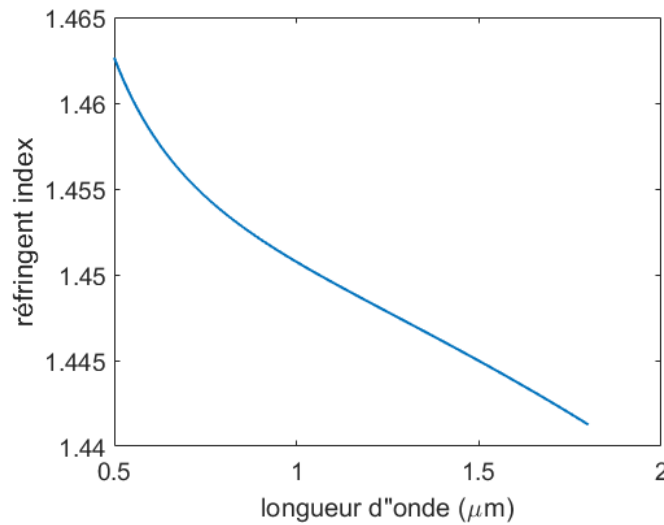


FIG. 2.9 : Wavelength dependence of refractive index based on the Sellmeier equation for SiO2.

L'équation de la dispersion des matériaux dans la silice. est connue sous le nom d'équation de Sellmeier. Sa forme est

$$\bar{n}^2 = 1 + G_1 \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_1^2} + G_2 \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_2^2} + G_3 \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_3^2} \quad (2.41)$$

Ici,  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  et  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  sont des constantes (appelées coefficients de Sellmeier).

### 2.3.3.3 Dispersion du guide d'ondes

La dispersion du guide d'ondes existe parce que la vitesse de groupe  $v_g$  dépend de la longueur d'onde. L'expression de la dispersion du guide d'onde  $\tau_g$  est exprimée en termes de quantité  $b$ , nous commençons donc par la définition du paramètre  $b$  :

$$b = \frac{\beta^2/K^2 - \bar{n}_2^2}{\bar{n}_1^2 - \bar{n}_2^2} \approx \frac{\beta/k - \bar{n}_2}{\bar{n}_1 - \bar{n}_2} \quad (2.42)$$

où nous avons utilisé le fait que  $\beta/k \approx \bar{n}_1 \approx \bar{n}_2$ . Nous utilisons l'équation ci-dessus pour déterminer  $\beta$  comme :

$$\beta = k\bar{n}_2(1 + b\Delta) \quad (2.43)$$

Ici  $\Delta = \frac{\bar{n}_1\bar{n}_2}{\bar{n}_2}$ . La dispersion du guide d'ondes est obtenue en évaluant la dérivée  $d\beta/dk$  en utilisant l'Eq. (2.97). On trouve :

$$\tau_{\Omega g} = \frac{L}{c} (\bar{n}_2 + \bar{n}_2\Delta \frac{d(Vb)}{dV}) \quad (2.44)$$

**2.3.3.3.1 Amplificateurs optiques** Dans cette partie, nous aborderons les problèmes liés aux amplificateurs optiques, qui sont essentiellement des lasers à semi-conducteurs sans miroir afin qu'ils ne se bloquent pas et qu'ils soient : gain et gain de bande passante, saturation du gain, bruit et forme du bruit.

## 2.3.4 Les propriétés générales

L'amplification dans les amplificateurs optiques se fait par émission stimulée (comme dans les lasers). On peut donc considérer des paramètres caractéristiques similaires, comme le gain et son spectre, la bande passante, etc. Nous allons les détailler.

### 2.3.4.1 Gain de spectre et de bande passante

Pour modéliser le gain, on commence généralement par un système à deux niveaux élargi de manière homogène. Le coefficient de gain local pour un tel système est :

$$g(v, P) = \frac{g_0}{1 + \frac{(v-v_0)^2}{\Delta v_0^2} + \frac{P}{P_{sat}}} \quad (2.45)$$

où  $g_0$  est la valeur de crête du gain non saturé,  $v_0$  fréquence de transition atomique,  $\Delta v_0$  largeur de bande de gain local de 3 dB, puissance de saturation  $P_{sat}$  et  $P$  et sont la puissance optique et la fréquence du signal amplifié.

Le gain d'amplificateur linéaire est défini comme :

$$G = \frac{P(L)}{P(0)} = e^{gL} = \exp \left[ \frac{g_0 L}{1 + \frac{(v-v_0)^2}{\Delta v_0^2}} \right] \quad (2.46)$$

où  $P(0) = P_{in}$  est la puissance d'entrée du signal ,  $P(L) = P_{out}$  est la puissance de sortie.

La bande passante de l'amplificateur  $B_0$  est évaluée à l'aide de la solution ci-dessus.

La bande passante macroscopique de l'amplificateur B0 est défini comme :

$$B_0 = \Delta v_0 \sqrt{\frac{\ln 2}{g_0 L - \ln 2}} \quad (2.47)$$

### 2.3.4.2 Bruit d'amplificateur

Le rapport signal sur bruit (SNR) des amplificateurs optiques est dégradé car l'émission spontanée s'ajoute au signal lors de son amplification. Le facteur de bruit de l'amplificateur  $F_n$  est défini comme :

$$F_n = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}} \quad (2.48)$$

Le SNR fait référence à la puissance électrique générée lorsque le signal est converti en courant électrique à l'aide d'un photodétecteur.

## 2.4 Simulation des paramètres du Récepteur optique

L'évaluation des performances d'un système de transmission optique se fait en évaluant le rapport signal/bruit optique, l'ouverture des yeux et le taux d'erreur sur les bits (BER), qui est l'indicateur ultime des performances du système.

Les principaux paramètres qui déterminent les caractéristiques de la DP sont : le courant d'obscurité, la réponse spectrale, l'efficacité quantique, le bruit, la détectivité, la linéarité et la plage dynamique, ainsi que la vitesse et la réponse en fréquence.

Dans ce partie, nous aborderons ces paramètres plus en détail. Nous ferons également une simulation Matlab pour ces paramètres

### 2.4.1 Paramètres de performance des photodétecteurs

#### 2.4.1.1 le courant d'obscurité :

est le courant circulant dans le PD sans lumière entrante. Les valeurs typiques pour les semi-conducteurs courants sont présentées dans le tableau (2.4).

Semiconductor	Courant sombre
Si	0.1 – 1
Ge	100

TAB. 2.4 : Courants d'obscurité pour différents semi-conducteurs et leurs composés.

### 2.4.1.2 l'efficacité quantique :

L'efficacité quantique est une mesure de l'efficacité de la génération des paires électron-trou (EHP). Il est défini comme .

$$\eta = \frac{\text{nombre d'EHP gratuits}}{\text{nombre de photons incidents}} = \frac{I_{ph}}{\frac{P_0}{h\nu}} \quad (2.49)$$

Ici  $I_{ph}$  est le photocourant circulant dans le circuit externe,  $e$  est la charge de l'électron,  $P_0$  est la puissance optique incidente et  $h\nu$  est l'énergie d'un seul photon.

Elle est également connue sous le nom de sensibilité spectrale. La sensibilité spécifie le photocourant généré par unité de puissance optique. Il peut être exprimé comme :

### 2.4.2 Conception du détecteur

Dans cette section, nous définirons l'expression rapport signal sur bruit en termes de courant de signal de détecteur et de bande passante. Ceci afin de connaître l'efficacité du photodétecteur PIN en présence de bruit généré dans l'amplificateur nécessaire à son fonctionnement. Le bruit de l'amplificateur est représenté par le bruit Johnson de la résistance de charge  $R_L$ .

Le courant de signal du détecteur est :

$$i_s = \eta \frac{e\lambda}{hc} P \quad (2.50)$$

où  $P$  est la puissance optique arrivant au détecteur à la longueur d'onde  $\lambda$

l'expression de rapport signal sur bruit est :

$$S/N = \frac{i_s^2 \cdot R_L}{i_{s,yh}^2 \cdot R_L} = \frac{i_s^2 \cdot R_L}{4k_B \cdot T \cdot B} \quad (2.51)$$

où  $B$  est la bande passante et  $T$  est la température de la résistance. Le rapport  $\frac{S}{N}$  ne peut pas augmenter indéfiniment en augmentant la valeur de  $R_L$  en raison de l'effet de la capacité de jonction  $C_j$ .

Dans la situation typique, la largeur de bande est déterminée par  $(R_L \cdot C_j^{-1})$ .

$$B = (2\pi \cdot R_L \cdot C_j)^{-1} \quad (2.52)$$

le rapport S/N prend la forme :

$$\frac{S}{N} = \frac{i_s^2}{8k_B \cdot T \cdot B^2 \cdot C_j} \quad (2.53)$$

la Fig.(2.10) ci-dessous définit le tracé de  $P_{min}$  en fonction de la bande passante B, Les paramètres suivants ont été supposés :  $C_j = 1pF, \eta = 1, T = 1000K, \lambda = 0,85\mu m$ .

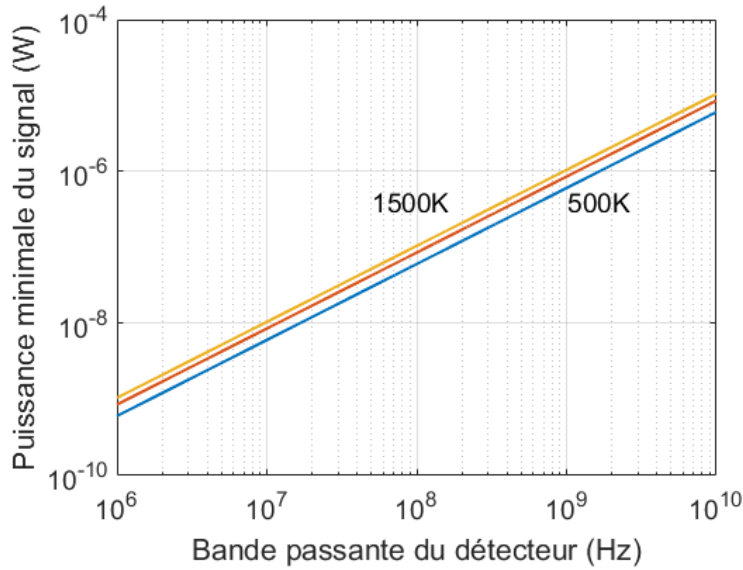


FIG. 2.10 : Tracé de  $P_{min}$  en fonction de la bande passante pour le détecteur PIN pour trois valeurs de température (1500 K, 1000 K et 500 K).

Le signal minimum détectable  $i_{s,min}$  peut être déterminé à partir de ce qui précède en définissant  $\frac{S}{N} = 1$ . On trouve :

$$i_{s,min} = 2 \cdot B \cdot (2\pi \cdot k_B \cdot T \cdot C_j)^{1/2} \quad (2.54)$$

La puissance optique minimale détectable est déterminée à partir de l'Equation de courant de signal du détecteur comme :

$$p_{min} = \frac{2hc}{\eta e \lambda} \cdot B \cdot (2\pi \cdot k_B \cdot T \cdot C_j)^{1/2} \quad (2.55)$$

### 2.4.3 Analyse du récepteur

Le signal numérique considéré fonctionne à un débit binaire B. Le créneau temporel (ou intervalle binaire) T est :

$$T = \frac{1}{B} \quad (2.56)$$

et c'est l'inverse du débit binaire. La séquence de données d'entrée dans le système de communication est désignée par  $b_k$ . La puissance optique  $p(t)$  tombant sur le photodétecteur est la séquence d'impulsions et elle s'écrit :

$$p(t) = \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} (b_k h_p(t - k \cdot T)) \quad (2.57)$$

où  $k$  est un paramètre désignant la  $k$ -ième tranche de temps et  $h_p(t)$  représente la forme d'impulsion d'une impulsion optique isolée à l'entrée du photodétecteur.

Il est entendu que :

$$1/T = \left[ \int_{-\infty}^{\infty} h_p(t) dt = 1 \right] \quad (2.58)$$

de sorte que  $b - k$  représente la puissance optique reçue dans le  $k$ ième intervalle de temps.

les lasers à semi-conducteurs fonctionnent toujours avec un courant de polarisation non nul, il y a donc toujours une petite puissance optique transmise.

### 2.4.4 BER d'un récepteur optique idéal

La façon la plus simple de déterminer le taux d'erreur binaire (BER), c'est-à-dire le taux auquel les erreurs se produisent dans un flux de données numériques, est :

$$BER = \frac{N_e}{N_p} = \frac{N_e}{B \cdot t} \quad (2.59)$$

où  $N_e$  est le nombre d'erreurs apparaissant sur l'intervalle de temps  $t$ ,  $N_p$  est le nombre d'impulsions transmises pendant cet intervalle,  $B = \frac{1}{T}$  est le débit binaire et  $T$  est l'intervalle binaire.

Le BER requis pour les systèmes de communication optique à haut débit est actuellement de  $10^{-12}$ . Le taux d'erreur binaire (BER) dépend des différents rapports signal sur bruit (SNR) du système à fibre.

### 2.4.5 BER et bruit gaussien

Le bruit provoque des erreurs au niveau du signal transmis (communications numériques optiques). De plus, les impulsions sont élargies en raison de la diffusion des fibres ou d'une réponse lente de la photodiode. Cette distorsion est connue sous le nom d'interférence intersymbole (ISI) et se produit lorsque des bits adjacents sont corrompus. L'ISI est aléatoire car les bits binaires d'un signal numérique sont aléatoires. Pour réduire l'ISI, un égaliseur est généralement utilisé.

## Chapitre 2. Simulation des différentes parties de la télécommunication par fibre optique

---

La fonction de densité de probabilité gaussienne (pdf) décrit deux variables aléatoires  $V_H$  (haute tension à la sortie du ),  $V_L$  (basse tension à la sortie du récepteur) comme suit :

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (2.60)$$

Le BER est défini en termes de deux probabilités conditionnelles  $P(0|1)$  et  $P(1|0)$  comme :

$$BER = p_0 P(0|1) + p_1 P(1|0) \quad (2.61)$$

où  $p_0$  et  $p_1$  sont des probabilités a priori pour les bits ZÉRO et UN. Leurs valeurs sont  $p_0 = p_1 = \frac{1}{2}$ . La probabilité conditionnelle  $P(A|B)$  pour deux événements A et B est définie comme suit :

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (2.62)$$

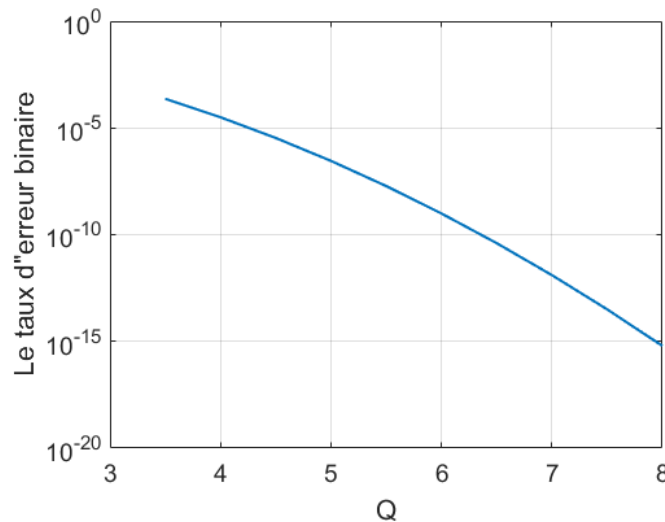


FIG. 2.11 : Tracé du taux d'erreur binaire en fonction de Q.

En supposant Gaussian (pdf), Les probabilités conditionnelles  $P(0|1)$  et  $P(1|0)$  est :

$$P(0|1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{Q_1}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (2.63)$$

$$P(1|0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{Q_2}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (2.64)$$

où les fonctions  $Q_1 = \frac{V_{th}}{V-L} \sigma_{bruit}$  et  $Q_2 = \frac{V_H}{V-th} \sigma_{bruit}$  sont des limites d'intégration. Nous supposons que les distributions de ZÉRO et UN sont et que la variance du bruit



noise est la même pour les deux. Il s'ensuit que le seuil optimal est  $\frac{1}{2}(VH + VL)$ . Ainsi :

$$Q = Q_1 = Q_2 = \frac{VH - VL}{2\sigma_{bruit}} \quad (2.65)$$

En utilisant la définition (2.61), le BER est évalué comme :

$$BER = \frac{1}{2}P(0|1) + \frac{1}{2}P(1|0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{Q_2}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (2.66)$$

La fonction ci-dessus relie le BER au rapport signal sur bruit Q. Il est représenté sur la Fig. (2.11). Pour un BER typique de  $10^{-6}$ ,  $Q = 6$ .

La puissance d'entrée incidente moyenne  $\bar{p}$  sont liées aux tensions  $V_H$  et  $V_L$  introduites précédemment comme :

$$V_H = R \cdot P_H \cdot Y_{s,max}(t) \quad (2.67)$$

$$V_L = R \cdot P_L \cdot Y_{s,max}(t) \quad (2.68)$$

où R est la sensibilité du détecteur et  $y_{s,max}(t)$  est la tension de sortie maximale du récepteur pendant une période de bit donnée. Au regard des grandeurs ci-dessus, la puissance moyenne  $\bar{P}$  s'évalue comme suit :

$$\bar{p} = \frac{1}{2}(P_H + P_L) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1+r}{1-r} \cdot \frac{1}{R} \cdot Q \cdot \frac{\sqrt{\bar{n}_s^2}}{y_{s,max}(t)} \quad (2.69)$$

L'expression ci-dessus donne le niveau de puissance d'entrée incidente moyen nécessaire pour obtenir un BER donné. Dans la dérivation ci-dessus, nous avons utilisé  $\sigma_{bruit}^2 = \bar{n}_s^2$ , où  $\bar{n}_s^2$  out est la variance du bruit de sortie. Nous avons également défini le rapport d'extinction r comme :

$$r = \frac{P_L}{P_H} \quad (2.70)$$

Pour une photodiode PIN, la sensibilité du récepteur prend la forme :

$$\eta\bar{P} = \frac{hv}{q} \frac{1+r}{1-r} \cdot \frac{1}{R} \cdot Q \cdot \frac{\sqrt{\bar{n}_s^2}}{y_{s,max}(t)} \quad (2.71)$$

La sensibilité idéale est obtenue là où aucune puissance n'est transmise (r = 0) comme :

$$\eta\bar{P} = \frac{hv}{q} \cdot Q \cdot \frac{\sqrt{\bar{n}_s^2}}{y_{s,max}(t)} \quad (2.72)$$

En utilisant les résultats ci-dessus, on peut analyser la sensibilité du récepteur pour différents types de filtres de bruit.[2]

## 2.5 Conclusion

En conclusion, la communication par fibre optique présente de nombreux avantages, notamment une grande bande passante, une longue portée, une immunité aux interférences électromagnétiques, une sécurité accrue des données et une faible atténuation du signal. Ces paramètres en font une technologie de choix pour les réseaux modernes et les besoins de communication à haut débit.

Dans le chapitre suivant, nous ferons une simulation complète de liaisons par fibre optique réelles .

# Chapitre 3

## Simulation d'une liaison de télécommunication par fibre optique sous Optisystem

### 3.1 Introduction

Dans les deux premiers chapitres précédents, on a vu la théorie essentielle sur les liaisons de télécommunication par fibre optique, ainsi que quelques simulations sur Matlab de leurs différents composants. Dans ce dernier chapitre, on va passer à la simulation complète de liaisons par fibre optique réelles en utilisant le logiciel commercial **Optisystem**. On va choisir comme liaison celles entre **Bordj bou attréridj** et **Sétif**.

Habituellement, les liaisons de télécommunication par fibre optique, sont faites par morceaux, pour assurer le transport de l'information vis à vis certains problèmes physiques et techniques, comme le problème de l'atténuation du signal (dû à l'absorption dans la fibre optique), la dégradation de la qualité du signal (dûe à la dispersion), et le problème de liaison par connecteur de fibres optiques.

### 3.2 Présentation du logiciel de simulation OptiSystem

Dans cette section, on va montrer aux lecteurs, le principe d'utilisation du Logiciel commercial **Optisystem** pour dimensionner et simuler une liaison de télécommunication par fibre optique. Cette liaison est composée généralement d'un émetteur de lumière (une diode laser), un système de modulation, et un système de codage de l'information. Aussi la liaison est composée essentiellement de plusieurs morceaux de fibres optiques, dont certaines sont destinées au transport de l'information, d'autres sont destinées à compenser certaines pertes comme la dispersion, et d'autres aussi sont utilisées pour amplifier le signal atténué au cours de la propagation à l'intérieur de la fibre responsable sur le transport de l'information. Dans l'autre côté de la liaison, on trouve la partie réception de l'information, composée à son tour d'un photodecteur (photodiode pin) et un filtre (Bessel optical filter).

Il est à noter aussi que sur le logiciel Optisystem, on est capable de simuler tous les paramètres des éléments composants de la liaison citée ci-dessus, ainsi que leurs effet sur la qualité du transport de l'information entre deux villes quelconques.

### 3.2.1 L'interface de travail sur OptiSystem

Dans cette sous section, on va présenter les différentes parties utiles du logiciel Optisystem pour la réalisation, dimensionnement et simulation d'une liaison de télécommunication par fibre optique.

**3.2.1.0.1 Lancement du logiciel OptiSystem :** Pour lancer le logiciel OptiSystem, on effectue l'action suivante :

- Dans le menu Démarrer, on sélectionne : **Programs > Optiwave Software > OptiSystem 7.**

- OptiSystem se charge et l'interface graphique utilisateur apparaît et une fenêtre principale répartit en plusieurs parties, voir la figure (3.1).

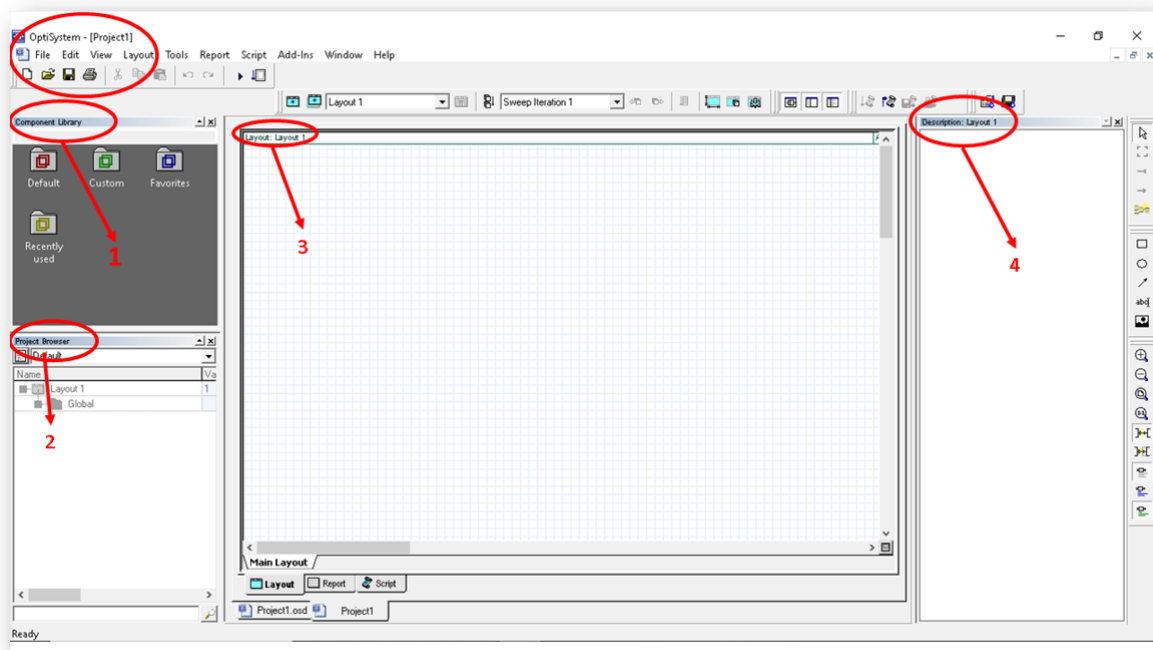


FIG. 3.1 : L'interface de travail sur OptiSystem.

#### 3.2.1.1 Les éléments essentiels de l'interface graphique :

L'interface graphique de l'OptiSystem contient une fenêtre principale répartit en plusieurs parties, telles que :

**Bibliothèque des Composants (1)** La bibliothèque des Composants nous donne accès aux différents composants afin de concevoir et créer le système de communication

## Chapitre 3. Simulation d'une liaison de télécommunication par fibre optique sous Optisystem

désiré, elle est apparait comme le montre la figure(3.2).

**Navigateur du Projet (Projet en cours) (2)** Cette fenêtre contient tous les composants utilisés lors du projet afin de pouvoir accéder plus rapidement aux différents composants, particulièrement dans le cas d'un projet complexe qui contient un nombre important de composants. La figure.(3.2) représente le navigateur de projet.

**Editeur du layout (3)** C'est la fenêtre principale dans laquelle vous insérez des composants dans la mise en page, modifiez les composants et créez des connexions entre les composants. Elle permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.

**Description du projet en cours (4)** Visualise et affiche des informations détaillées sur le projet en cours (les divers fichiers et composants correspondants au projet en cours).

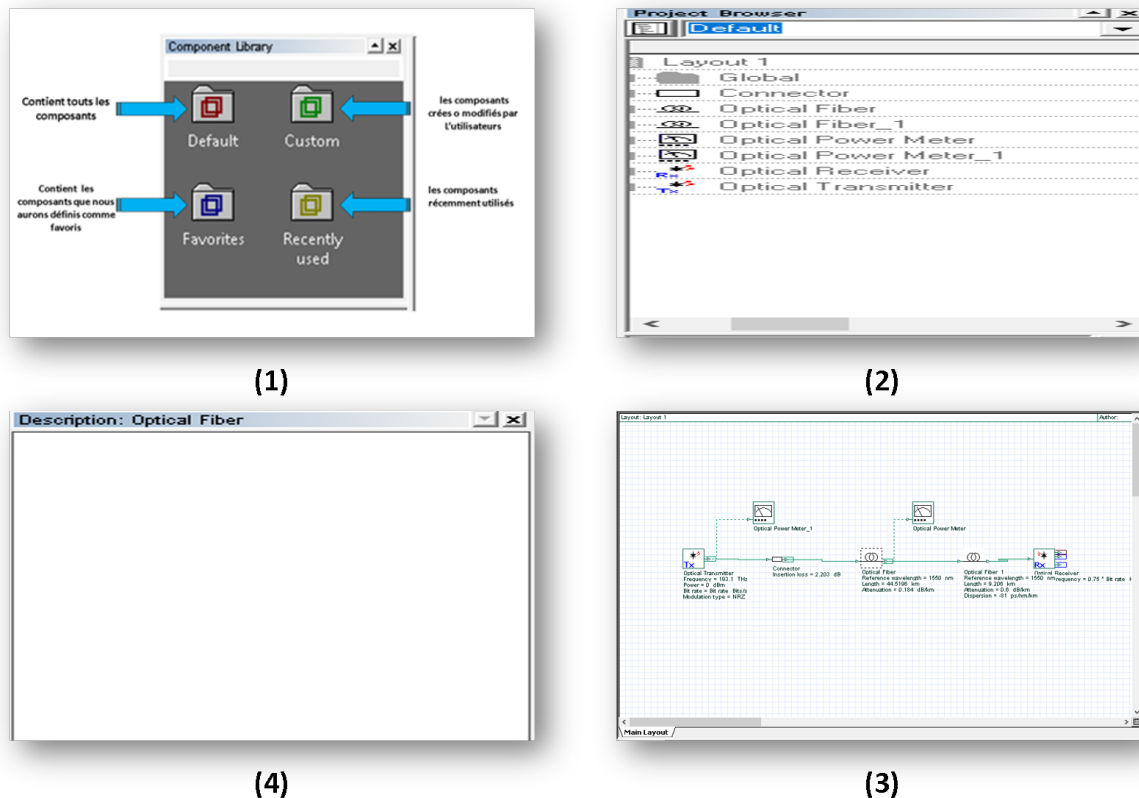


FIG. 3.2 : Bibliothèque des composants (1), Navigateur du Projet (2), Fenêtre de :présentation du projet en cours(3), description du projet en cours(4).

**3.2.1.1.1 La barre de menu :** La barre de menu contient les différents éléments optiques et électroniques disponibles dans l'environnement du logiciel OptiSystem.

Pour créer un nouveau project dans La barre de menu, on sélectionne : **file > New**

**3.2.1.1.2 Lancer une simulation :** Pour exécuter une simulation, on clic sur la touche calculate, comme le montre la figure (3.3) ci dessous, puis on attend le temps de

calcul pour extraire les résultats de la simulation.

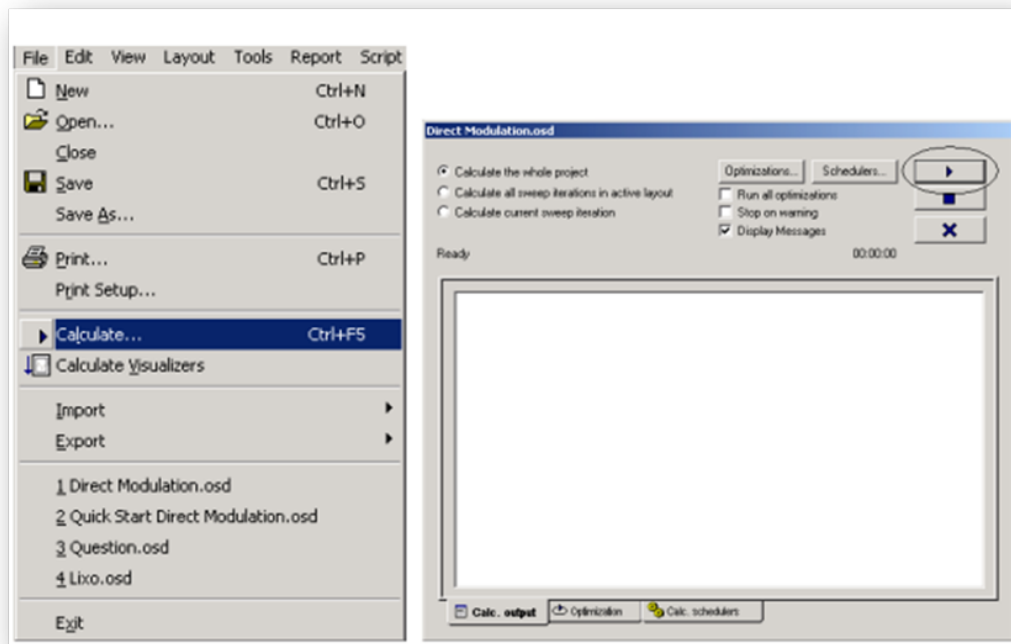


FIG. 3.3 : La fenêtre qui montre le lancement de la simulation.

### 3.2.1.2 La bibliothèque

La bibliothèque du logiciel Optisystem contient tout les composants, ainsi que tout type de modèles qui permettent la réalisation de différents schémas blocs : émetteur, récepteur, générateurs, codeurs, modulateur, filtres, appareillage de mesure et de diagnostic, oscilloscope, ...etc.

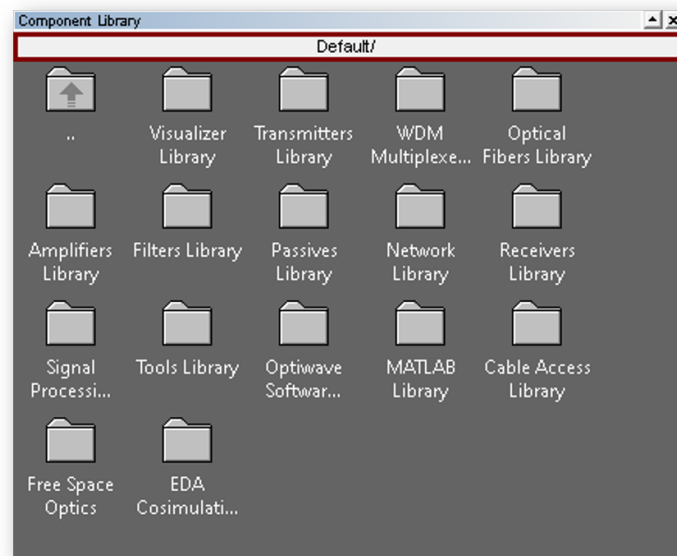


FIG. 3.4 : Fenêtre montrant la bibliothèque du logiciel Optisystem.

### 3.2.1.3 Conception d'une liaison optique

Un système de télécommunication par fibre optique est constitué essentiellement d'un :

- émetteur (Diode laser avec système de codage et de modulation)
- canal de communication (composé de plusieurs morceaux de fibres optiques)
- récepteur (photo-détecteur) et filtre.

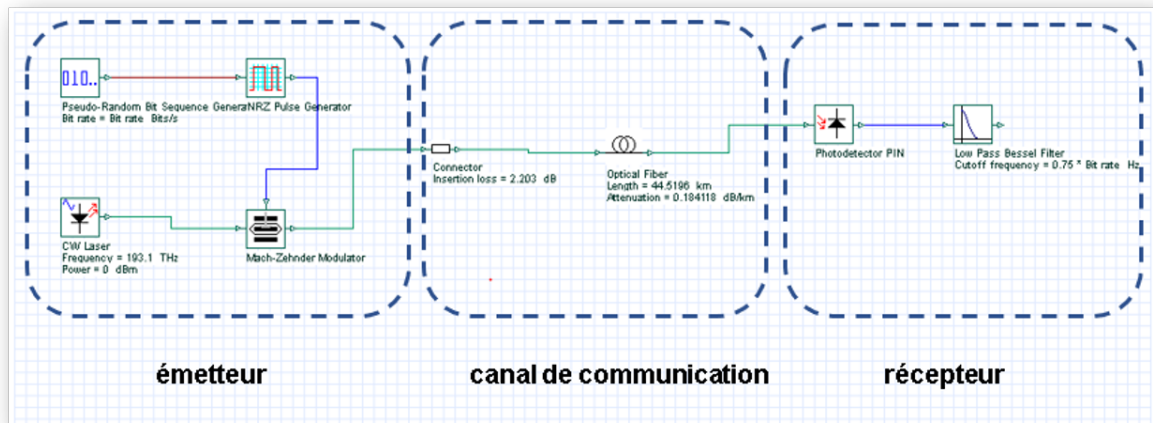


FIG. 3.5 : Composants d'une liaison d'un système de communication par fibre optique.

**Emetteur optique** : L'émetteur optique convertit le signal électrique en un signal optique, puis on l'injecte dans la fibre optique.

Un émetteur optique est modélisé sous Optisystem par :

1. Une source optique associée à,
2. un générateur d'impulsions électriques, puis.
3. un modulateur optique.

La puissance de lancement est un paramètre important lors de la conception d'une chaîne de transmission, généralement ce paramètre est exprimé en dB.mWatt.

**Le canal de transmission** : Le canal de transmission optique utilisé est la fibre optique, son rôle est de transporter un signal optique de l'émetteur au récepteur. Dans une chaîne de transmission, plusieurs pertes peuvent être rencontrées ; telles que l'atténuation et la dispersion. En agissant sur la longueur de la fibre, nous pouvons observer et évaluer la dégradation du signal au niveau du récepteur, ainsi que l'élargissement des impulsions à l'intérieur de la fibre.

**Récepteurs optiques** : Un récepteur optique convertit le signal optique reçu à sortie de la fibre en un signal électrique. Il est constitué de ; photo-détecteur et un filtre.

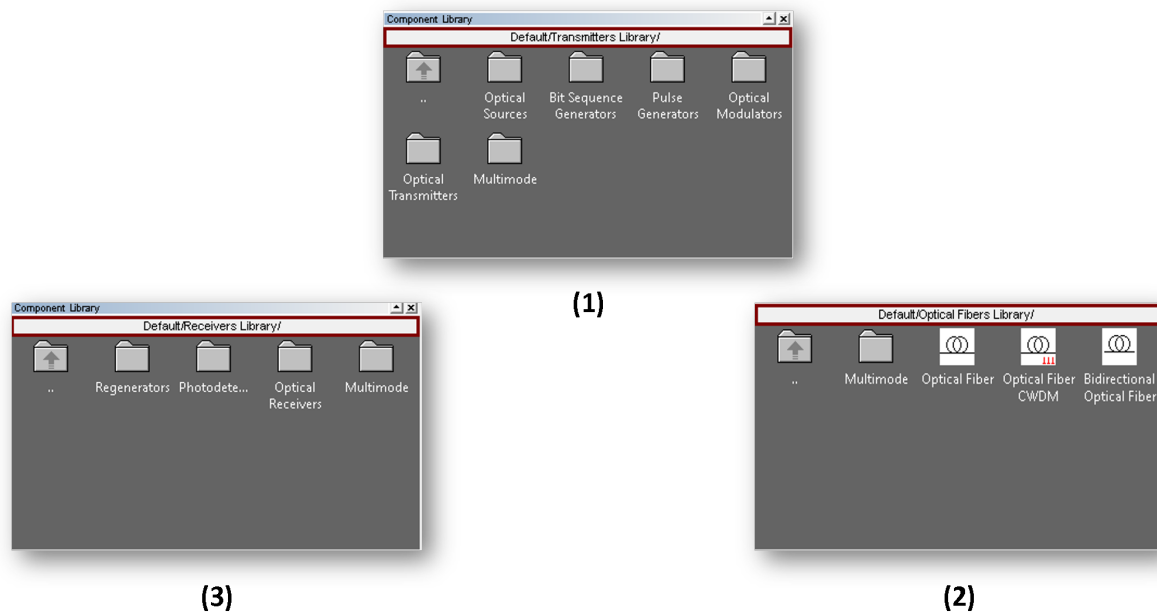


FIG. 3.6 : La bibliothèque des :(a)émetteurs optiques, (b)fibres optique, (c)récepteurs optiques.

Souvent, le signal reçu se présente sous la forme d'impulsions optiques représentées par les deux bit d'information le (0) ou le (1).

Les performances d'un système de communication numérique sont évaluées par : son taux d'erreur binaire symbolisé par **BER**, défini comme étant **la probabilité de bits erroné sur le nombre total de bits transmis**. En générale le BER d'un système optique est fixé à un taux de  $10^{-9}$ .

### 3.3 Les paramètres de test

A partir de cette section, on va commencer l'étude et la simulation de la liaison par fibre optique réelle utilisée entre la wilaya de **Bordj Bou Arréridj** et la Wilaya de **Sétif**. Comme premier point, on va commencer par donner un tableau récapitulatif donnat les paramètres de test de la liaison réelle (la section de la fibre, les pertes dûs aux connecteurs, et le coefficient d'atténuation).

Le tableau (3.1) ci-dessous define les parameters réels pour la liaison(BBA-Sétif) et (CA Bejaia-CA El-kseur) :

Longueur d'onde	1550nm	1550nm (SM-9 $\mu\text{m}$ )
Plage	80km	15 Km
Impulsion	3 $\mu\text{s}$	100 ns
Temps d'acquisition	10s	15 s
Longueur de la section	44.51959 km	12.37923
Perte de section	2.203 dB	1.461
Perte moyenne	0.184 dB	0.1885



Diffusion Rayleigh	-81 dB	-81,90
--------------------	--------	--------

TAB. 3.2 : Configuration test de la liaison optique (BBA-Sétif) et un exemple supplémentaire de ( Bejaia- Elkseur).

### 3.4 Visualisation de la liaison sur OTDR

Pratiquement on mesure les différentes performances d'une liaison par fibre optique par un appareil appelé refractomètre optique et abrégé **OTDR** qui est sigle de "(**O**ptical **T**ime **D**omain **R**eflectometer)". Dans le mode automatique, l'OTDR affiche la trace des pertes en fonction de la longueur, ainsi que les morceaux constituant la liaison directement dans l'écran de l'appareil. On a récupéré le résultat de la liaison BBA-Sétif du centre d'amplification des services techniques de Algérie TELECOM de la wilaya de Bordj Bou Arréridj (voir figure 3.7).

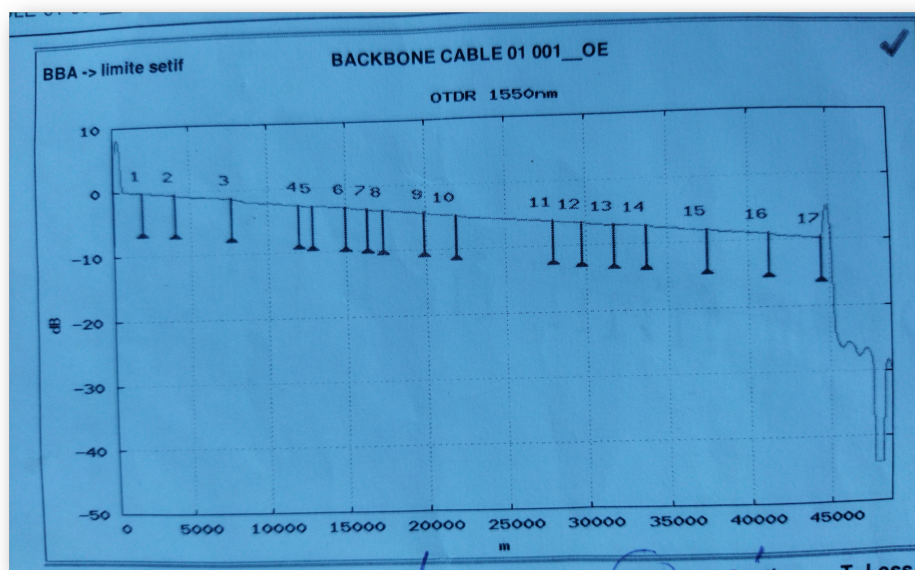


FIG. 3.7 : la trace d'OTDR de la liaison(BBA-Limite-Sétif).

**Note : Mesure de réflectométrie (OTDR) :** Le réflectomètre optique, aussi appelé OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), est un appareil de test permettant de mesurer la force des réflexions de retour dans la fibre optique. Il injecte des impulsions lumineuses par le biais d'un laser à travers une fibre optique pour en analyser la lumière réfléchi. Cet appareil fournit des informations sur la liaison optique et les composants optiques passifs en indiquant leur localisation, la perte de puissance associée et les longueurs de fibre. Les mesures d'un OTDR permettent de connaître la qualité de la fibre installée avant sa mise en service, pour s'assurer du bon fonctionnement du réseau.

A partir de la figure (3.8), on constate que la trace OTDR (acquise du centre d'amplification de Algérie Telecom de BBA) donne le nombre de section (morceaux de fibres

## Chapitre 3. Simulation d'une liaison de télécommunication par fibre optique sous Optisystem

optiques utilisées), et leurs pertes totales correspondantes. alors on observe 17 sections sur la trace.

Event	Distance m	Loss dB	Reflect. dB	Slope dB/km	Section m	T. Loss dB
1	1960.50	0.056	??	0.172	1960.50	0.338
2	4002.68	0.131	Connecter	0.179	2042.18	0.758
3	7678.61	0.442		0.180	3675.93	1.508
4	12008.04	0.101		0.220	4329.43	2.806
5	12906.60	-0.104		0.189	898.56	3.078
6	14948.78	0.107		0.178	2042.18	3.337
7	16337.46	0.138		0.193	1388.68	3.711
8	17317.71	-0.078		0.174	980.25	4.020
9	19931.71	0.173		0.185	2613.99	4.427
10	21892.20	0.112		0.184	1960.50	4.961
11	27937.06	0.063		0.195	6044.86	6.253
12	29734.18	0.101		0.179	1797.12	6.638
13	31694.68	-0.131		0.182	1960.50	7.098
14	33736.86	0.154		0.183	2042.18	7.339
15	37494.48	0.056		0.177	3757.62	8.272
16	41333.78	0.256		0.183	3839.30	9.032
17	44519.59		-36.11	0.177	3185.81	9.900

FIG. 3.8 : Vérification de l'analyse de la trace d'OTDR de la liaison (BBA-Sétif).

La figure (3.9) représente le tableau qui résume les paramètres des différents morceaux de fibres, ainsi que les connecteurs et l'émetteur et le récepteur, et leurs différentes pertes correspondantes. La fiche est acquise du Centre d'amplification du Centre Algerie TELECOM de BBA.

Par la suite on va montrer comment obtenir ce type de Tableau et graphe en utilisant le Logiciel Optisystem, et on verra que ce dernier nous donnera les mêmes valeurs que celles données dans ce type de document fournis par le services techniques de ALGERIE TELECOM.

### 3.5 La simulation sous Optisystem

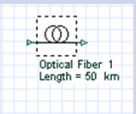
Dans cette partie nous allons faire la simulation sous le logiciel Optisystem des montages équivalents de la liaison (BBA-Sétif)

L'implémentation de la liaison sous l'interface Optisystem est basée sur les données mentionnées précédemment. Lors de l'implémentation nous avons remplacé chaque segment par une longueur de fibre qui sépare deux événements, et chaque événement est remplacé par un connecteur comme ils sont représentées dans la figure (3.13)

Les paramètres de la distance, atténuation et dispersion sont indiquées dans la figure (3.12). Cette simulation a pour but de reproduire les différents pertes rencontrées dans la liaison testée par l'appareil **OTDR**, puis on va faire une comparaison entre les résultats obtenus par simulations et ceux expérimentaux.

Le composant
Les Tableaux de modification des paramètres

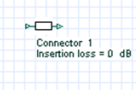
**La fibre**



Optical Fiber 1  
Length = 50 km

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	User defined reference w	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Reference wavelength	1550	nm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Length	50	km	Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation effect	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation data type	Constant		Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation	0.2	dB/km	Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation vs. wavelengt	Attenuation.dat		Normal

**Le connecteur**



Connector 1  
Insertion loss = 0 dB

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input checked="" type="checkbox"/>	Insertion loss	0	dB	Normal

FIG. 3.9 : Les paramètres des fibres et des connecteurs utilisés pour la liaison étudiée. On a une source de 1550 nm, une longueur de liaison de 50Km, et une atténuation de 0.2 dB/Km.

### 3.5.1 Les montages équivalents des liaisons testées

La figure (3.10) montre le schéma équivalent sous Optisystem de a liaison BBA-Sétif avec le morceaux de fibres nécessaires, les connecteurs, l'émetteur, le récepteur

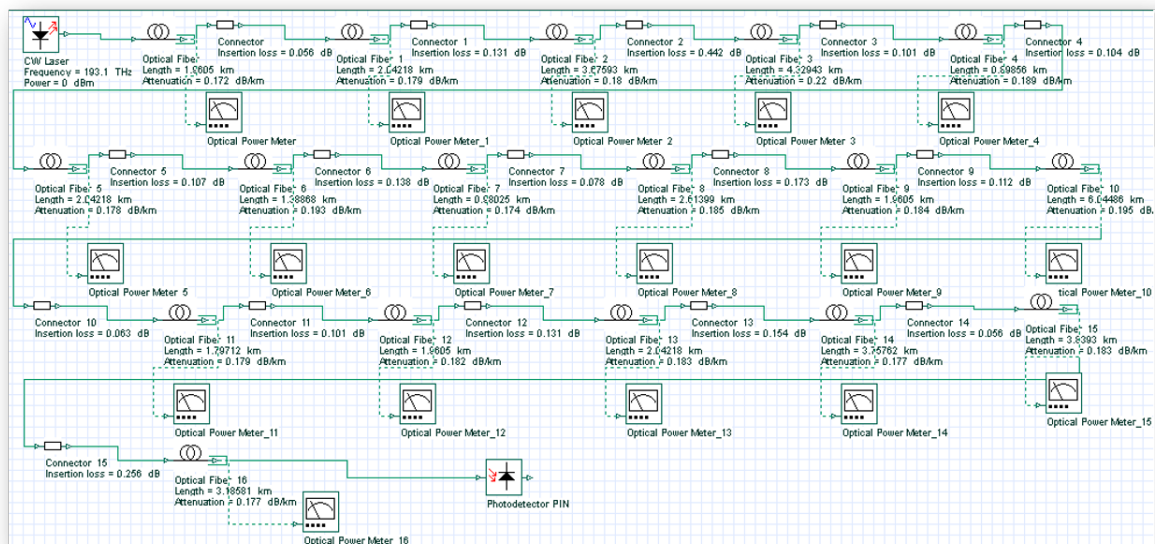


FIG. 3.10 : le montage équivalent de liaison(BBA-Sétif).

Les résultats obtenus par le montage équivalent de liaison (BBA-Sétif).

### Chapitre 3. Simulation d'une liaison de télécommunication par fibre optique sous Optisystem

Le segment	La puissance totale de chaque segment simulation	Le segment	La puissance totale de chaque segment simulation
1	Optical Power Meter 925.293 E-6 W 0.337 dBm	6	Optical Power Meter 428.130 E-6 W 3.684 dBm
2	Optical Power Meter 839.780 E-6 W 0.753 dBm	7	Optical Power Meter 392.713 E-6 W 4.053 dBm
3	Optical Power Meter 699.613 E-6 W 1.551 dBm	8	Optical Power Meter 365.773 E-6 W 4.368 dBm
4	Optical Power Meter 507.470 E-6 W 2.946 dBm	9	Optical Power Meter 321.410 E-6 W 4.929 dBm
5	Optical Power Meter 476.790 E-6 W 3.217 dBm	10	Optical Power Meter 284.241 E-6 W 5.463 dBm

Le segment	La puissance totale de chaque segment simulation	Le segment	La puissance totale de chaque segment simulation
11	Optical Power Meter 211.160 E-6 W 6.753 dBm	15	Optical Power Meter 128.227 E-6 W 8.920 dBm
12	Optical Power Meter 193.261 E-6 W 7.139 dBm	16	Optical Power Meter 107.677 E-6 W 9.679 dBm
13	Optical Power Meter 173.925 E-6 W 7.596 dBm	17	Optical Power Meter 89.152 E-6 W 10.499 dBm
14	Optical Power Meter 154.843 E-6 W 8.104 dBm		

FIG. 3.11 : Les résultats obtenus par le montage équivalent de liaison (BBA-Sétif).

les résultats de simulations donnés dans la figure (3.11) et tableau (3.2) montrent une diminution de la puissance du signal émit à chaque fois que la longueur de la fibre augmente d'où la présence du phénomène d'atténuation en fonction de la distance qui est de 0.184 dB/Km pour 44.51959 km, liaison (BBA-Limite-Sétif). sont identiques aux résultats donnés par l'OTDR.

Liaison	OTDR	Simulation
BBA-Limite-Sétif	9.900 dbm	10.499dbm

TAB. 3.4 : tableau comparatif des résultats de simulation et de l'OTDR des pertes totales de puissances.

### 3.5.2 Les différentes analyses des deux liaisons

Dans cette partie nous allons d'abord présenter l'ensemble des appareils utilisés pour la caractérisation des signaux optiques et électriques ainsi que leurs configuration dans le logiciel, donnés dans le tableau ci-dessous, puis on modélise la liaison avec le logiciel Optisystem afin d'évaluer les performances de la liaison en questi.

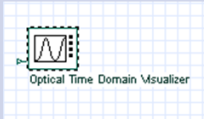

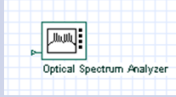
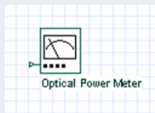

Appareil de visualisation	Paramètres de visualisation																																																																																															
<b>Optical time domain visualizer</b> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Graphs</th> </tr> <tr> <th>Disp</th> <th>Name</th> <th>Value</th> <th>Units</th> <th>Mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Plot individual mode</td> <td></td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Individual mode number</td> <td>0</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Time unit</td> <td>s</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Reference bit rate</td> <td>Bit rate</td> <td>5</td> <td>Bits/s</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Autocorrelation</td> <td>Off</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Calculate phase and chirp</td> <td></td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Phase unit</td> <td>deg</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Unwrap phase</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Calculate alpha parameter</td> <td></td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Power unit</td> <td>W</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Minimum value</td> <td>-100</td> <td>dBm</td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Limit number of points</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Max. number of points</td> <td>128000</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Invert colors</td> <td></td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Enable color grade</td> <td></td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Number of color bins</td> <td>500</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Color grade palette</td> <td>Default</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> </tbody> </table>	Graphs					Disp	Name	Value	Units	Mode	<input type="checkbox"/>	Plot individual mode			Normal	<input type="checkbox"/>	Individual mode number	0		Normal	<input type="checkbox"/>	Time unit	s		Normal	<input type="checkbox"/>	Reference bit rate	Bit rate	5	Bits/s	<input type="checkbox"/>	Autocorrelation	Off		Normal	<input type="checkbox"/>	Calculate phase and chirp			Normal	<input type="checkbox"/>	Phase unit	deg		Normal	<input type="checkbox"/>	Unwrap phase	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal	<input type="checkbox"/>	Calculate alpha parameter			Normal	<input type="checkbox"/>	Power unit	W		Normal	<input type="checkbox"/>	Minimum value	-100	dBm	Normal	<input type="checkbox"/>	Limit number of points	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal	<input type="checkbox"/>	Max. number of points	128000		Normal	<input type="checkbox"/>	Invert colors			Normal	<input type="checkbox"/>	Enable color grade			Normal	<input type="checkbox"/>	Number of color bins	500		Normal	<input type="checkbox"/>	Color grade palette	Default		Normal
Graphs																																																																																																
Disp	Name	Value	Units	Mode																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Plot individual mode			Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Individual mode number	0		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Time unit	s		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Reference bit rate	Bit rate	5	Bits/s																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Autocorrelation	Off		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Calculate phase and chirp			Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Phase unit	deg		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Unwrap phase	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Calculate alpha parameter			Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Power unit	W		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Minimum value	-100	dBm	Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Limit number of points	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Max. number of points	128000		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Invert colors			Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Enable color grade			Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Number of color bins	500		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Color grade palette	Default		Normal																																																																																												
<b>Oscilloscope visualizer</b> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Graphs</th> </tr> <tr> <th>Disp</th> <th>Name</th> <th>Value</th> <th>Units</th> <th>Mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Time unit</td> <td>s</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Reference bit rate</td> <td>Bit rate</td> <td>5</td> <td>Bits/s</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Calculate autocorrelation</td> <td></td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Limit number of points</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Max. number of points</td> <td>128000</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Invert colors</td> <td></td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Enable color grade</td> <td></td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Number of color bins</td> <td>500</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Color grade palette</td> <td>Default</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> </tbody> </table>	Graphs					Disp	Name	Value	Units	Mode	<input type="checkbox"/>	Time unit	s		Normal	<input type="checkbox"/>	Reference bit rate	Bit rate	5	Bits/s	<input type="checkbox"/>	Calculate autocorrelation			Normal	<input type="checkbox"/>	Limit number of points	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal	<input type="checkbox"/>	Max. number of points	128000		Normal	<input type="checkbox"/>	Invert colors			Normal	<input type="checkbox"/>	Enable color grade			Normal	<input type="checkbox"/>	Number of color bins	500		Normal	<input type="checkbox"/>	Color grade palette	Default		Normal																																								
Graphs																																																																																																
Disp	Name	Value	Units	Mode																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Time unit	s		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Reference bit rate	Bit rate	5	Bits/s																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Calculate autocorrelation			Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Limit number of points	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Max. number of points	128000		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Invert colors			Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Enable color grade			Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Number of color bins	500		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Color grade palette	Default		Normal																																																																																												
<b>Optical spectrum Analyzer</b> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Resolution bandwidth</th> </tr> <tr> <th>Disp</th> <th>Name</th> <th>Value</th> <th>Units</th> <th>Mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Resolution bandwidth</td> <td>Off</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Filter type</td> <td>Rectangle</td> <td></td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Bandwidth</td> <td>0.01</td> <td>nm</td> <td>Normal</td> </tr> </tbody> </table>	Resolution bandwidth					Disp	Name	Value	Units	Mode	<input type="checkbox"/>	Resolution bandwidth	Off		Normal	<input type="checkbox"/>	Filter type	Rectangle		Normal	<input type="checkbox"/>	Bandwidth	0.01	nm	Normal																																																																						
Resolution bandwidth																																																																																																
Disp	Name	Value	Units	Mode																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Resolution bandwidth	Off		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Filter type	Rectangle		Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Bandwidth	0.01	nm	Normal																																																																																												
<b>Optical power meter</b> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Main</th> </tr> <tr> <th>Disp</th> <th>Name</th> <th>Value</th> <th>Units</th> <th>Mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Minimum value</td> <td>-100</td> <td>dBm</td> <td>Normal</td> </tr> </tbody> </table>	Main					Disp	Name	Value	Units	Mode	<input type="checkbox"/>	Minimum value	-100	dBm	Normal																																																																																
Main																																																																																																
Disp	Name	Value	Units	Mode																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Minimum value	-100	dBm	Normal																																																																																												
<b>Eye diagram</b> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Main</th> </tr> <tr> <th>Disp</th> <th>Name</th> <th>Value</th> <th>Units</th> <th>Mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Time window</td> <td>1.5</td> <td>Bit period</td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Ignore start bits</td> <td>1</td> <td>bits</td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Ignore end bits</td> <td>1</td> <td>bits</td> <td>Normal</td> </tr> </tbody> </table>	Main					Disp	Name	Value	Units	Mode	<input type="checkbox"/>	Time window	1.5	Bit period	Normal	<input type="checkbox"/>	Ignore start bits	1	bits	Normal	<input type="checkbox"/>	Ignore end bits	1	bits	Normal																																																																						
Main																																																																																																
Disp	Name	Value	Units	Mode																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Time window	1.5	Bit period	Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Ignore start bits	1	bits	Normal																																																																																												
<input type="checkbox"/>	Ignore end bits	1	bits	Normal																																																																																												

FIG. 3.12 : Les blocs visualisés dans la simulation de la liaison optique.

#### 3.5.2.1 Paramètres des liaisons simulées

Le tableau (3.3) ci dessous montre les différents paramètres qu'on va utiliser les simulations prochaines.

## Chapitre 3. Simulation d'une liaison de télécommunication par fibre optique sous Optisystem

Les paramètres	BBA-Sétif
La longueur (Km)	44.51959
L'atténuation moyenne (dB/Km)	0.184118
La dispersion (ps/nm/Km)	16.75
Les pertes totale des joints (dB)	2.203

TAB. 3.6 : Paramètres de la liaison.

**Le montage de mesure :** La figure (3.13) montre le montage utilisé (En bloc) pour mesurer les signaux entrée et sortie, et le bruit.

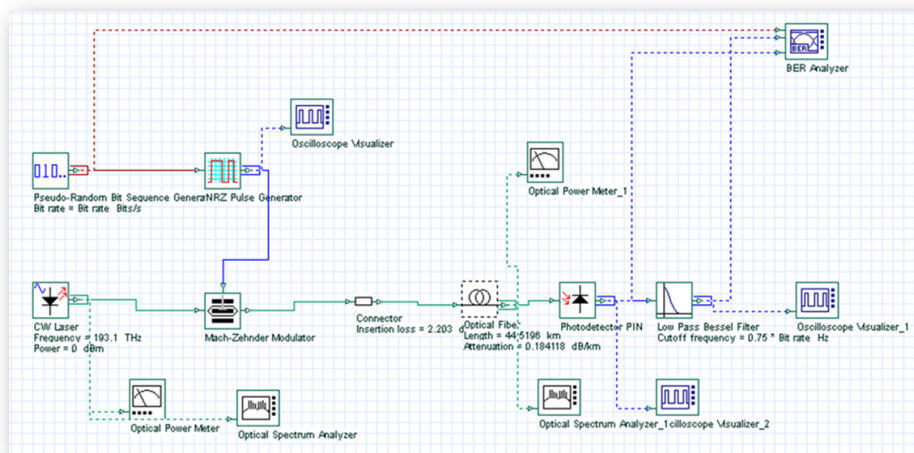
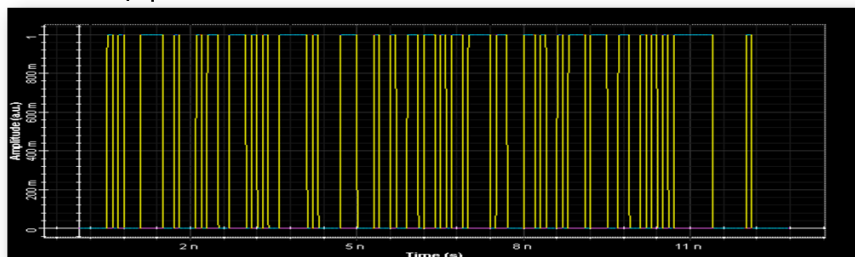


FIG. 3.13 : Les blocs visualisés dans la simulation.

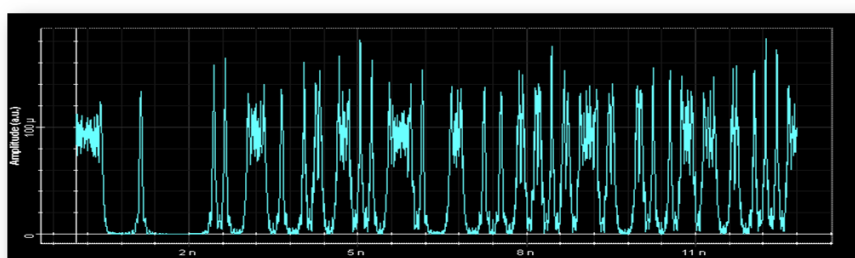
### 3.5.2.2 la visualisation dans le domaine temporelle :

Dans cette section, on passe à la visualisation des signaux d'entrée et de sortie avant et après le filtrage, comme représenté dans la figure (3.14)

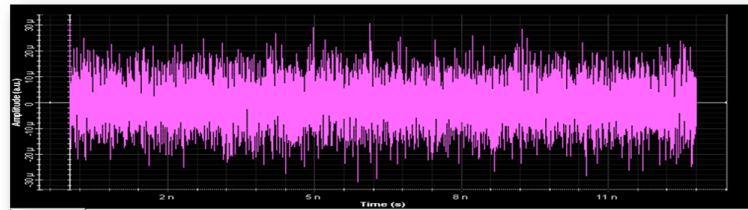
Le signal d'entrée à 10 Gbits/s pour la liaison



Le signal de sortie de la liaison (BBA-Limite-Sétif)



Le signal de bruit



Après filtrage:

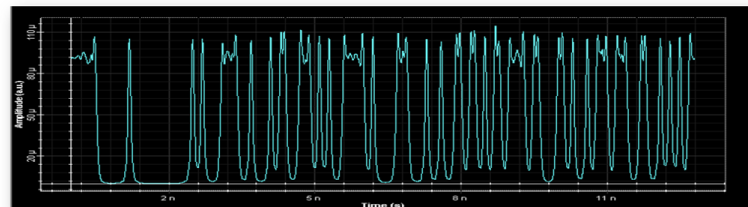


FIG. 3.14 : la visualisation dans le domaine temporelle de différents signaux pour la liaison.

**Discussion des résultats :** On injecte un signal binaire de 10GB/s a l'entrée de la liaison (BBA-Sétif), après propagation on reçoit à la sortie des signaux atténués et distordus. Coome on remarque aussi l'élargissement des impulsion d'entrée dû à la dispersion. Pour une liaison on représente, le signal d'entrée, de sortie et le bruit ainsi que le signal de sortie après filtrage.L'observation principale dans la visualisation temporelle, est que le signal de sortie de la liaison (BBA-Sétif) présente une distorsion avec une diminution d'amplitude plus grande, qui se traduit par un bruit très fort, donc le signal filtré sera d'une amplitude plus faible, ce qui nécessite une amplification par une autre fibre amplificatrice.

### 3.5.2.3 la visualisation dans le domaine fréquentielle

La visualisation des signaux d'entrée et de sortie dans le domaine fréquentielle (spectral) est très important, car elle permet de visualiser le contenu fréquentielle des signaux surtaux après élargissement des impulsions au cours de la propagation. La figure (3.15) nous montre un exemple d'un signal d'entrée et son conjugué de sortie après propagation dans la ligne (BBA-Sétif).

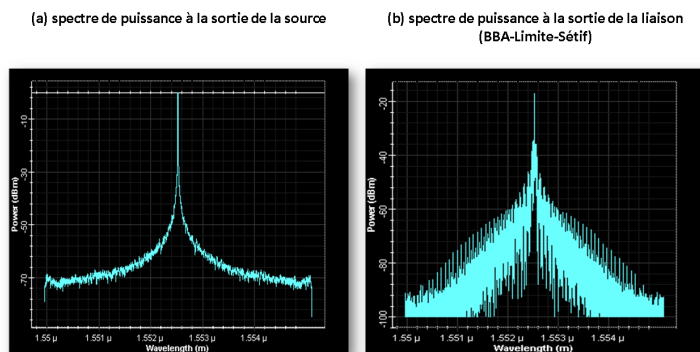


FIG. 3.15 : la spectre d'un signal avant et après la transmission

**Discussion :** On voit que la puissance optique à la sortie de la source est centrée autour d'une seule longueur d'onde c'est la fréquence fondamentale, elle est caractérisée par une amplitude de 0 dBm prise comme valeur de référence (qui correspond réellement à 70 dBm), après la propagation du signal dans la fibre, une diminution de la puissance pour la liaisons (BBA-Limite-Sétif) sont observées de  $\approx -14$ dBm , comme on peut aussi remarquer l'existence des composantes spectrales parasites à la sortie de la diode laser avec des valeurs négligeables, mais elle prennent des valeurs importantes à la sorties de la liaison ; ces deux effets sont liés à l'atténuation et à la dispersion, qui sont mentionnée précédemment.

### 3.5.2.4 Le diagramme de l'œil

La façon la plus « visuelle » de juger la qualité d'un signal est d'observer le diagramme de l'œil qui représente la superposition synchrone de tous les symboles binaires de la séquence transmise.

Cette courbe permet de visualiser, après détection, la qualité du signal en termes :

-De l'élargissement temporel des impulsions du signal qui est dû à la dispersion.

-Du bruit d'amplitude qui résulte de l'accumulation du bruit d'émission spontanée amplifiée sur le signal tout au long de son parcours dans la liaison.

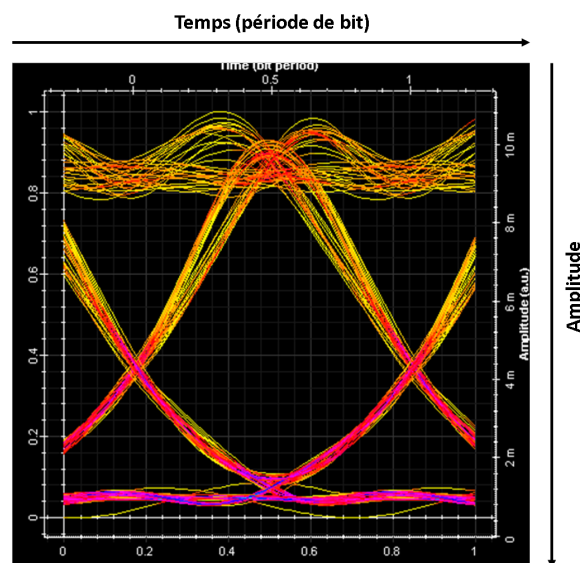


FIG. 3.16 : diagramme de l'œil des liaisons.

**Interprétation des résultats :** d'après les courbes on remarque clairement une augmentation de la distorsion en fonction de la longueur de la fibre pour un même signal d'entrée de 10 Gbits/s.

### 3.5.2.5 La puissance optique

La figure (3.16) nous montre l'affichage sur le logiciel Optisystem de la puissance optique à la sortie de la liaison. On remarque qu'elle est diminuée d'une valeur de -13,618 dBm.



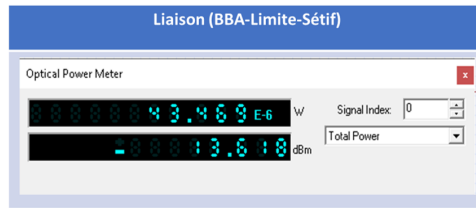


FIG. 3.17 : Puissance optique à la sortie de la liaison BBA-Sétif.

**3.5.2.5.1 Facteur de qualité Q** Il est défini par le rapport de la fréquence par la largeur de la bande passante du système.

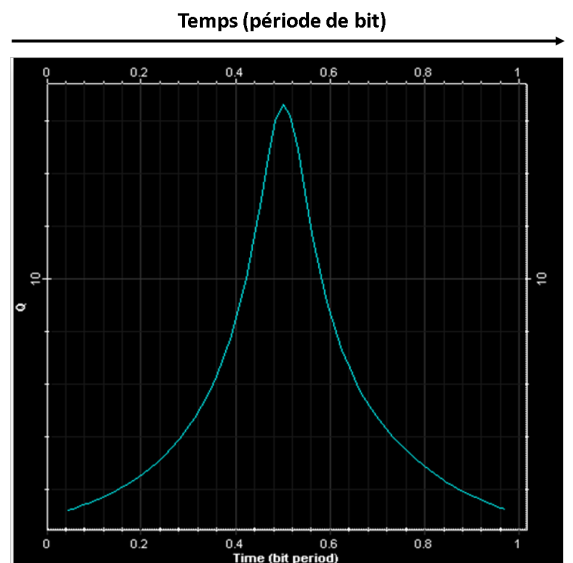


FIG. 3.18 : la trace de facteur de qualité liaison (BBA-Sétif).

**3.5.2.5.2 Le taux d'erreur binaire (BER)** On définit le taux d'erreurs binaire (Bite Error Rate) en anglais (BER) par le nombre debits erronés sur le nombre de bits transmis pendant la durée de la mesure.

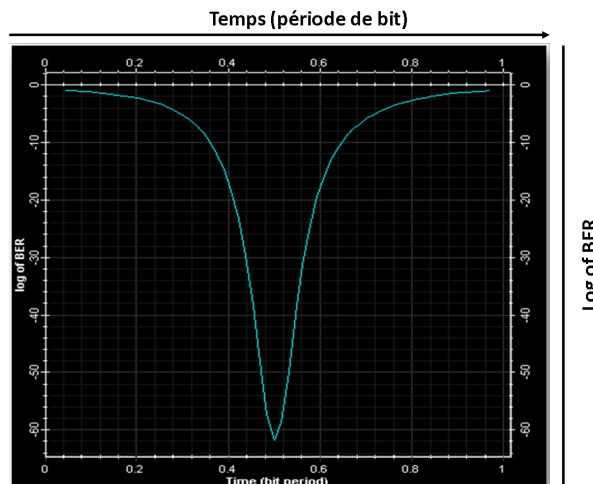


FIG. 3.19 : Le taux d'erreur binaire la liaison (BBA-Sétif).

**Commentaire :** D'Après les résultats de visualisation dans les différents domaines et les mesures de puissance effectuée, nous utilisons la visualisation de la trace de facteur de qualité et du taux d'erreur binaire pour tester la qualité et la fidélité de la transmission sur les liaisons. Nous constatons que la qualité de la liaison (BBA-Sétif), est bonne en tennant compte des différents paramètres, tels que ; distance parcouru, les nombres de jonctions et les types de connectiques.

### 3.5.3 Résolution des problèmes

Dans cette partie, et en se basant sur les résultats des premières simulations, pour proposer des solutions afin d'améliorer la qualité de la liaison (BBA-Sétif), on donne une idée sur la compensation des effets linéaires dans la fibre optique (atténuation et dispersion) avec les deux méthodes les plus courantes tel que l'amplification pour l'atténuation et les fibres de compensation pour la dispersion.

#### 3.5.3.1 L'atténuation

On utilise un amplificateur optique (EDFA) pour compenser l'atténuation en amplitude d'un signal optique .

Le schéma de simulation de la liaison BBA-Sétif avec un amplificateur optique de compensation est montré dans la figure (3.20) comme suit :

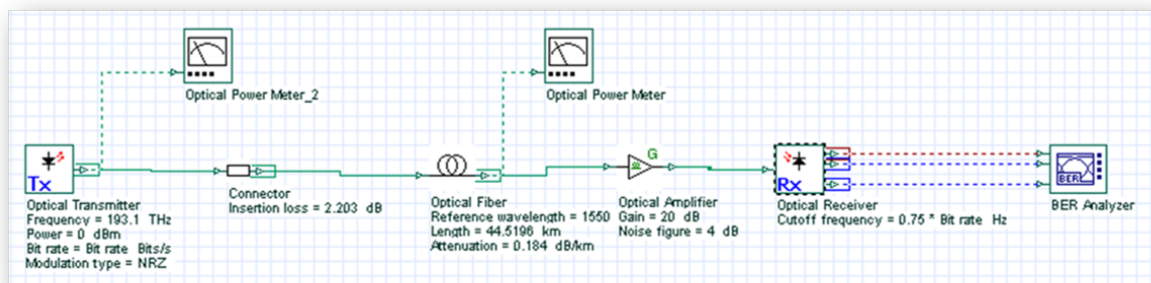


FIG. 3.20 : Installation d'un amplificateur optique dans une liaison.

Caractéristiques de l'amplificateur utilisé dans la simulation :

Type	Le gain	Pertes d'insertion
EDFA	20 dB	4 dB

TAB. 3.8 : Tableau montrant les caractéristiques de l'amplificateur utilisé.

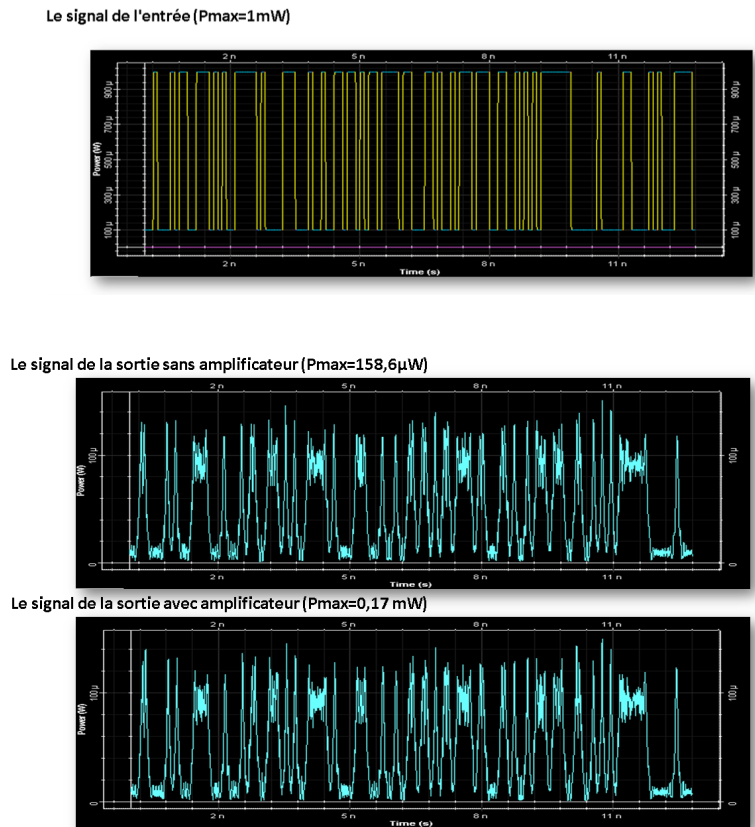


FIG. 3.21 : le signal à l'entrée et à la sortie de la liaison à 10 Gbits/s

**Discussion :**

Après propagation du signal dans la liaison, sans l'amplificateur le signal est très affaibli, mais avec l'installation de l'amplificateur (EDFA) la puissance perdue pendant la propagation est récupérée.

La distorsion augmente relativement après l'installation de l'amplificateur à cause des pertes d'insertion qui est de  $p_{ins} = 4\text{dB}$ .

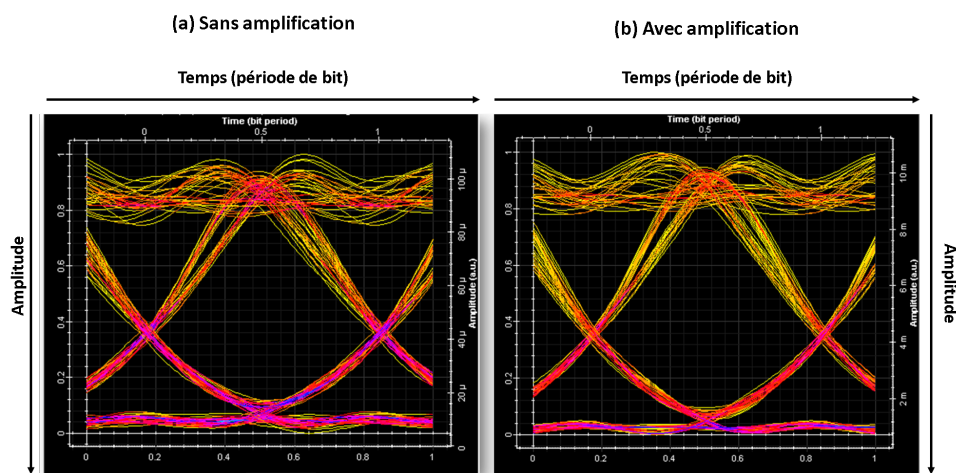


FIG. 3.22 : diagramme de l'œil de la liaison (BBA-Sétif) avec débit de  $10\text{Gbit/s}$  sans(a) et avec amplification(b).

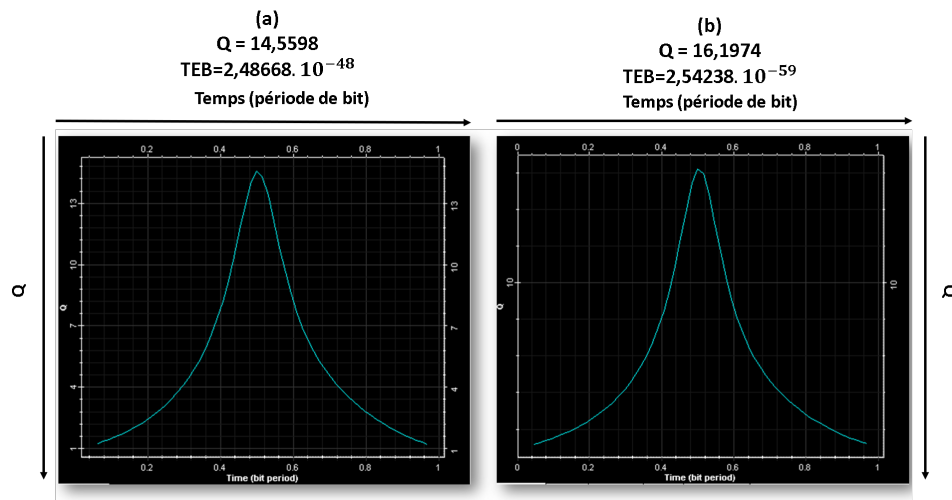


FIG. 3.23 : La trace de facteur de qualité de la liaison (BBA-Sétif) sans et avec amplification.

**Remarque :** L'insertion de l'amplificateur dans la liaison optique donne une amélioration de facteur de qualité ainsi que la qualité du signal comme monté dans le diagramme de l'œil.

### 3.5.3.2 La dispersion

**3.5.3.2.1 Compensation de la dispersion** Ce sont des fibres qui sont conçues pour avoir de fortes dispersions négatives grâce à des modifications de leurs paramètres géométriques.

Par choix du profil d'indice de la fibre, il est possible d'ajuster la dispersion et d'obtenir ainsi une fibre à dispersion négative (jusqu'à  $-200 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ ), qui serve de fibre compensatrice de dispersion DCF. Cette technique est considérée comme meilleure solution permettant de minimiser les pénalités introduites par la dispersion chromatique sur une large bande de longueurs d'onde.

Le calcul de la longueur de la fibre de compensation est donné par :

$$L(\text{DCF}) \cdot C(\text{DCF}) = -L(\text{NZ-DSF}) \cdot C(\text{NZ-DSF}) \quad \text{Où}$$

-  $L(\text{DCF})$  est la longueur de la fibre de compensation.

-  $C(\text{DCF})$  est la dispersion chromatique de la fibre de compensation.

-  $C(\text{NZ-DSF})$  la dispersion chromatique positive de la fibre NZ-DSF à cette même longueur d'onde.

-  $L(\text{NZ-DSF})$  est la longueur de la fibre NZ-DSF.

#### 3.5.3.2.2 Exemple d'application numérique :

$$L(\text{NZ-DSF}) = 44.51959 \text{ km.}$$

$$C(\text{NZ-DSF}) = 16.75 \text{ ps/nm}\cdot\text{km.} \quad C(\text{DCF}) = -81 \text{ ps/nm}\cdot\text{km.} \quad L(\text{DCF}) = 9.206 .$$

## Chapitre 3. Simulation d'une liaison de télécommunication par fibre optique sous Optisystem

Donc pour compenser cette valeur de dispersion, on doit installer à la fin de la liaison précédente, un câble de 11.268 Km de dispersion -81 ps/nm.Km.

Paramètres de la fibre optique de compensation :

Longueur	Atténuation	Dispersion chromatique
9.206 (Km)	0.6 (dB/Km)	-81 (ps/nm/Km)

TAB. 3.10 : Paramètres de la fibre optique de compensation

Le montage après compensation :

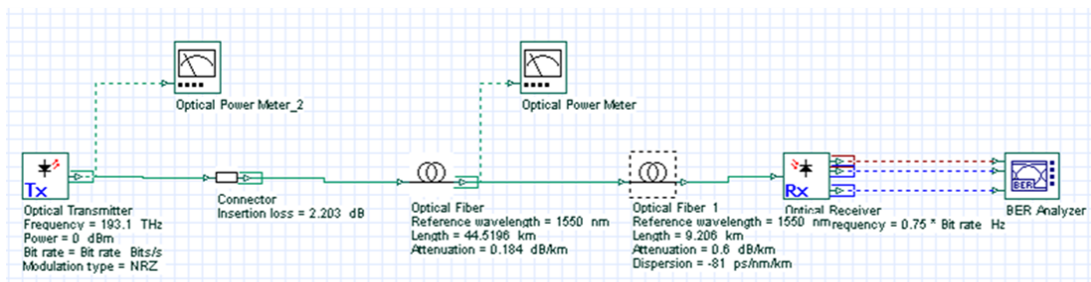
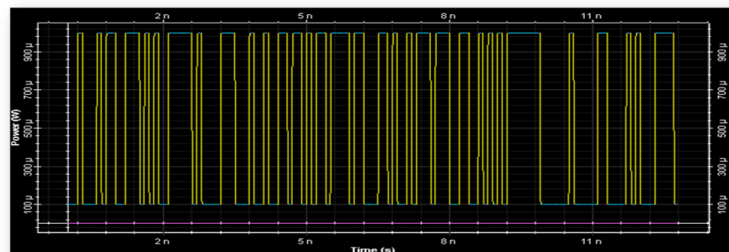
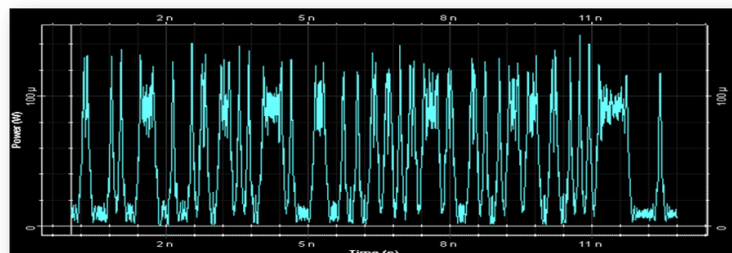


FIG. 3.24 : la configuration d'une fibre de compensation dans la liaison.

Le signal de l'entrée



Le signal de la sortie



Le signal de la sortie après la configuration de la fibre compensatrice

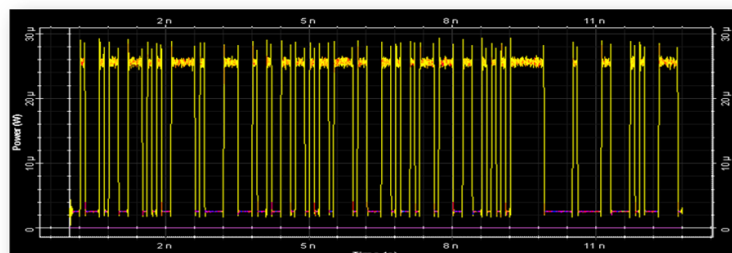


FIG. 3.25 : compensation de la dispersion en utilisant la DCF

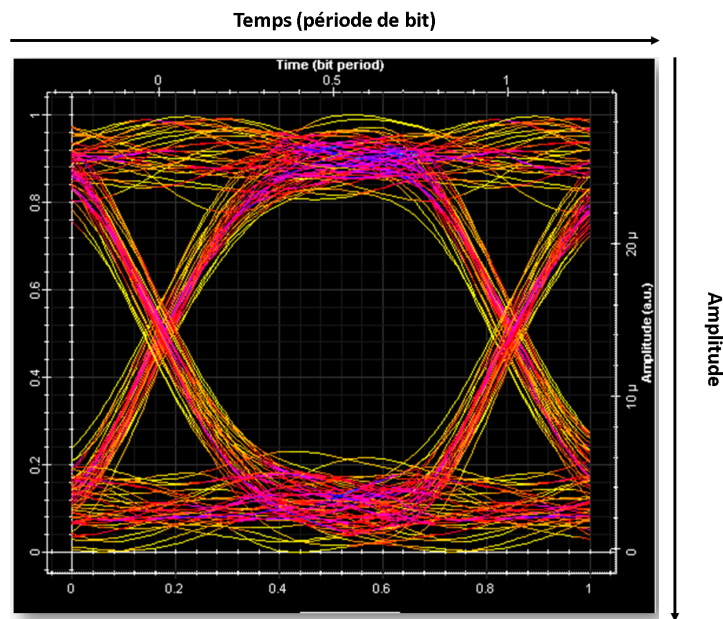


FIG. 3.26 : diagramme de l'œil de la liaison à fibre de compensation

### Discussion :

L'élargissement de l'impulsion augmente à cause du phénomène de dispersion. Après l'installation (l'ajout) de la fibre DCF (dispersion négatif  $-81 \text{ ps/nm Km}$ ), l'étalement a diminué et le signal de sortie est devenu presque identique au signal d'entrée, sauf que les fibres de type DCF ont une atténuation importante, qu'il faut prendre en considération.

- Le diagramme de l'œil de la liaison à fibre de compensation montre une forte distorsion à cause de l'atténuation de la fibre DCF, qu'il faut la compenser à son tour.

Pour une autre solution on configure un montage avec l'utilisation des deux techniques (la compensation de la dispersion chromatique et l'amplification) en même temps.

### Le montage de compensation de la dispersion et d'amplification :

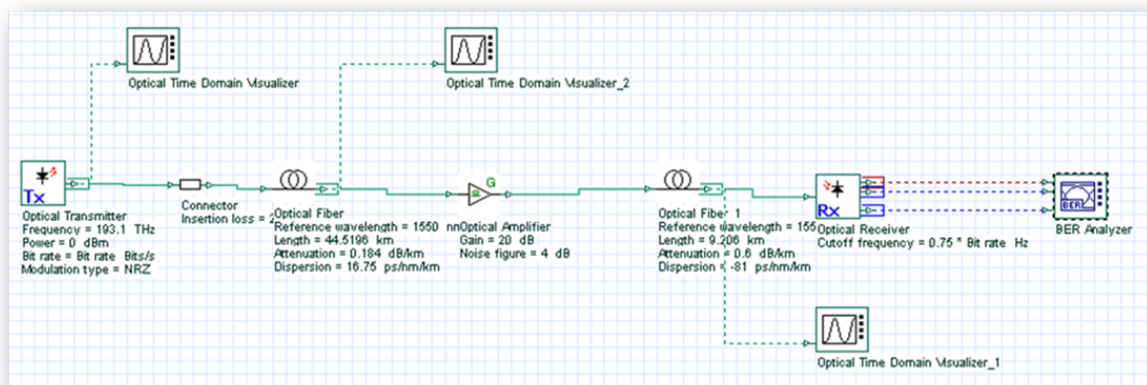


FIG. 3.27 : la configuration d'une liaison avec fibre de compensation et un amplificateur EDFA.

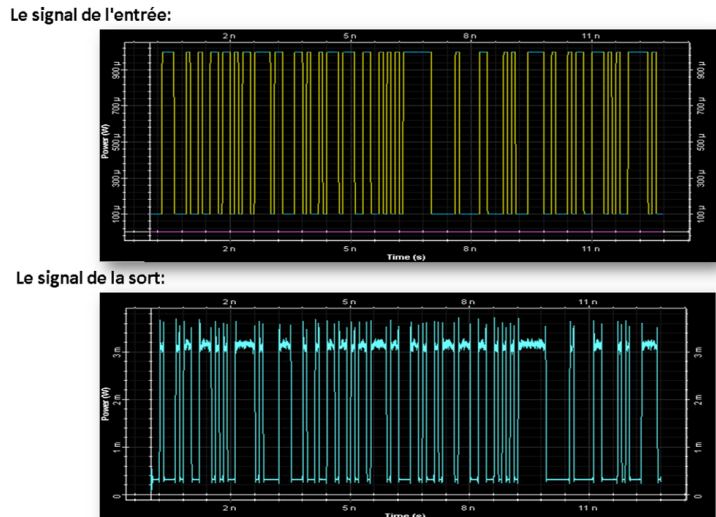


FIG. 3.28 : le signale à l'entrée et à la sortie de la liaison

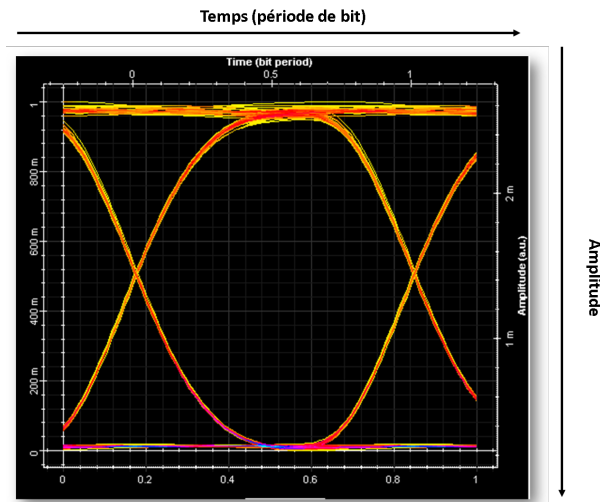


FIG. 3.29 : diagramme de l'œil, de laliation après la configuration d'amélioration.

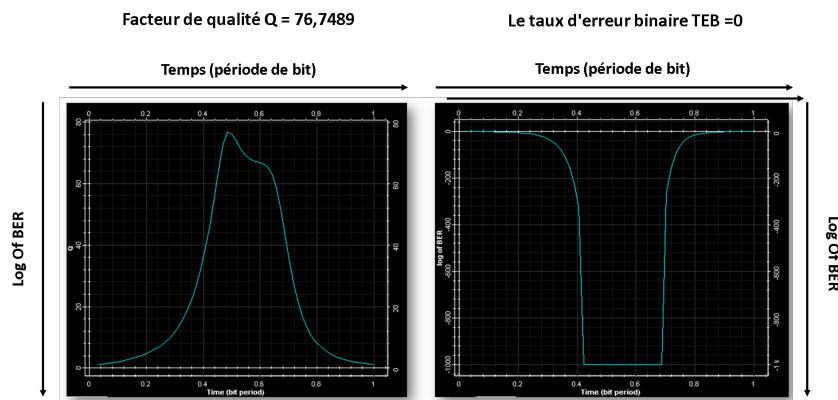


FIG. 3.30 : diagramme de taux d'erreur binaire de la liaison après la configuration d'amélioration.

### Commentaire :

Après l'insertion de l'amplificateur avec la fibre de compensation DCF on observe une amélioration considérable de la qualité du signal en terme de distorsion et d'atténuation

## 3.6 Conclusion

Dans ce chapitre une simulation de la liaison optique a été faite. A fin d'améliorer la qualité du signal pour la grande liaison (BBA-sétif), l'insertion d'un amplificateur a été réalisée et qui nous a donné une bonne amélioration de la qualité du signal en terme d'affaiblissement sans l'amélioration de la distorsion.

Pour la diminution de la distorsion, une solution est envisageable en insérant une fibre de compensation de  $-81$  ps/nm Km de 9.206 km à la fin de la fibre de la liaison optique, mais les résultats de simulation ont montré que ce câble engendre beaucoup de pertes qui influent sur la distorsion du signal.

La solution idéale pour l'amélioration de la qualité du signal est l'insertion d'un amplificateur en plus d'un câble de compensation. Alors, la simulation a montré une très bonne correction du signal récupéré avec un très bon facteur de qualité.[13]



# Conclusion générale

La communication par fibre optique est un moyen de transmission de données qui utilise des câbles en verre ou en plastique transparents, appelés fibres optiques, pour transmettre des signaux lumineux sur de longues distances avec une vitesse élevée et une faible atténuation.

Dans cette étude, nous avons étudié les composants du canal de communication par fibre optique. Puis, nous avons simulé les paramètres de ces composants. Enfin, nous avons utilisé ce dernier dans une simulation complète de liaisons par fibre optique réelles en utilisant le logiciel commercial Optisystem.

Au cours de notre étude de cette technologie, nous avons rencontré de nombreux problèmes dont les plus importants étaient l'atténuation et la dispersion, qui affectaient grandement ses performances. Afin de résoudre ces problèmes, nous avons utilisé un ensemble de techniques telles que l'amplification du signal, la correction d'erreurs, et l'utilisation de câbles à faible atténuation. Il existe également d'autres techniques telles que des connexions de haute qualité et des mesures de protection contre les perturbations externes. Cependant, il est essentiel de surveiller régulièrement les performances du système de communication par fibre optique et de prendre des mesures correctives appropriées pour garantir une communication fiable et efficace.

# Annexes